

ДОКЛАДЫ.

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. И. Н. Назаров, акад. А. И. Некрасов, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

25-й ГОД ИЗДАНИЯ

1957

ТОМ 112, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Стр.

- Д. Л. Берман. Сходимость интерполяционного процесса Лагранжа, построенного для абсолютно непрерывных функций и функций с ограниченным изменением 9
- Л. Г. Михайлов. Краевая задача типа задачи Римана для систем дифференциальных уравнений первого порядка эллиптического типа 13
- М. Розенблат-Рот. Энтропия стохастических процессов 16
- В. С. Скворцов. Применение метода сеток к решению систем дифференциальных уравнений в частных производных 20
- М. Ф. Тиман. О взаимосвязи между полным и частными наилучшими приближениями в среднем функций многих переменных 24

МЕХАНИКА

- Д. И. Манжерон. О приведенных ускорениях любого порядка и некоторых их экстремальных свойствах 27

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Б. Г. Корнев. Некоторые плоские задачи теории тепловых волн 29

ФИЗИКА

- В. В. Алперс, И. И. Гуревич, В. М. Кутукова, А. П. Мишакова, Б. А. Никольский и Л. В. Суркова. Изучение взрывных ливней, образованных космическими частицами большой энергии 33
- Б. Б. Говорков, В. И. Гольданский, О. А. Карпухин, А. В. Куценко и В. В. Павловская. Зависимость сечений фотообразования π^0 -мезонов от массовых чисел ядер 37
- П. С. Киреев. Тонкая структура и лэмбовский сдвиг уровня $2s_{1/2}$ линии T_α трития λ 6560 Å 41
- А. А. Логунов, Б. М. Степанов и А. Н. Тавхелидзе. О роли связанных состояний в процессах фоторождения 45
- Р. В. Телеснин и И. А. Леднев. О наблюдении магнитной вязкости ферритов при низких температурах 48

- М. И. Юдин. Предвычисление поля ветра и связанных с ним метеорологических элементов 49

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А. А. Воробьев. Преломление света в кристаллах и энергия связи между ионами 53

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- А. Г. Лунц. Метод синтеза (1, k)-полосника 55
 С. В. Страхов. О влиянии вторых гармоник в разложениях индуктивностей и взаимоиндуктивностей статора на структуру уравнений переходных процессов синхронной машины 58
 В. И. Шестаков. Алгебраический метод синтеза многотактных систем r -позиционных реле 62

ХИМИЯ

- И. Л. Кнунянц и А. В. Фокин. О нитроперфторалкилнитритах 67
 И. И. Корнилов и Л. И. Прякина. Жаропрочность сплавов некоторых двойных, тройных, четверных и пятерных никелевых систем при 800° 70
 Б. А. Кренцель, А. В. Топчиев и Л. Н. Андреев. Окислительное хлорирование метана 73
 А. И. Окунев и В. С. Бовыкин. Активность окиси цинка в свинцово- и медеплавильных шлаках, подвергающихся фьюмингованию 77
 А. Д. Петров, В. А. Пономаренко и А. Д. Снегова. Синтез и свойства некоторых кремнийорганических β -спиртов (β -гидроксиполитриметилсиланов) 79
 Л. Х. Фрейдлин и Б. Д. Полковников. Последовательность гидрирования двойных связей циклопентадиена на Pd- и Pt-чернях 83

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Д. И. Абугов. О пределах устойчивого распространения пламени в газах при изменяющемся давлении 88
 И. И. Антипова-Каратаева. Зависимость спектров поглощения растворов и изоморфных кристаллов квасцов от содержания хрома 90
 Н. С. Ениколопан. О роли стабильных промежуточных продуктов в сложных цепных реакциях 93
 Д. И. Лейкис и Е. К. Венстрем. Определение потенциала нулевого заряда электродов из двуокиси свинца методом измерения твердости 97
 Г. Л. Натансон. Диффузионное осаждение аэрозолей на обтекаемом цилиндре при малых коэффициентах захвата 100
 С. И. Попель, О. А. Есин, Г. Ф. Коновалов и Н. С. Смирнов. Влияние серы на межфазное натяжение на границе металл — шлак 100

ГЕОЛОГИЯ

- С. А. Архипов, В. А. Зубаков и Ю. А. Лаврушин. О ледниково-водных отложениях в Приенисейской части Западно-Сибирской низменности 107
 Ю. М. Васильев. Фациальные особенности кунгура Северного Прикаспия в связи с характером юго-восточного обрамления Русской платформы 108
 Ф. Г. Гурари. О генезисе мезокайнозойских структур южной части Западно-Сибирской низменности 111
 Д. П. Найдин и В. М. Нероденко. Маастрихтские белемниты Украинской впадины 111
 Б. П. Стерлин и Е. Е. Мигачева. О возрасте самых древних отложений юры Днепровско-Донецкого грабена 111
 Г. И. Теодорович. О классификации песчаников по вещественному составу обломочных зерен и цемента 112

МИНЕРАЛОГИЯ

- В. В. Матиас и А. М. Бондарева. Литиофосфат — новый минерал 112

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

- В. Н. Шиманский. О семействе Pseudonautilidae Hyatt, 1900 112

ЦИТОЛОГИЯ

- Х. М. Каролинская. О способах размножения клеток в развивающемся семени лягушки 114
 И. И. Кикидзе. Цитохимическое исследование рибонуклеиновой кислоты в развивающихся яйцах некоторых беспозвоночных 114

- Г. М. Беляев и П. В. Ушаков. Некоторые закономерности количественного распределения донной фауны в водах Антарктики 137

МИКРОБИОЛОГИЯ

- К. В. Косиков и О. Г. Раевская. К вопросу о приспособлении дрожжей к сбраживанию сахарозы 141
- П. Х. Рахно и В. И. Тохвер. О возможности усвоения молекулярного азота при температуре 50° отдельными почвенными бактериями 144

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

- М. Ф. Бугаевский. Форма протопластов клеток меристемы, убитых морозом 146

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- А. В. Воеводин. Реакция двудомных растений на гербицид 2,4-Д 148
- А. А. Малышев. Процессы развития и роста культурных растений в высокогорных зонах северного склона Западного Кавказа 152

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- Н. Н. Овчинников и Н. М. Шиханова. К вопросу о причинах разнокачественности зерновок пшеницы, сформированных в разных цветках колоска 155

ЗООЛОГИЯ

- Н. А. Гладков. Новые сведения о позвоночных Заполярной Якутии (бухта Тикси) 159
- П. А. Моисеев. Образование жилой формы симы (*Oncorhynchus masu morpha formosanus* (Jordan et Oshima)) в бассейне реки Седанки 163
- Д. В. Наумов. Жизненный цикл гидромедузы *Cladonema pacifica* Naumov 165

ФИЗИОЛОГИЯ

- Т. Н. Соллертинская. Влияние удаления верхних шейных симпатических узлов на электрическую активность коры головного мозга 167
- В. С. Шевелева. Об интерференции в межнейронных синапсах импульсов, проходящих по различным афферентным волокнам 170

ЭМБРИОЛОГИЯ

- И. А. Садов. Образование перивителлинового пространства у овоцитов осетровых рыб 174

CONTENTS

MATHEMATICS

Pages

- D. L. Berman. The convergence of Lagrange's interpolation process constructed for absolutely continuous functions and functions of bounded variation . . 9
- L. G. Mikhailov. The Riemannian type of boundary problem for elliptical systems of first order differential equations 13
- M. Rosenblatt-Roth. Entropy of stochastic processes 16
- V. S. Skvortsov. On the applicability of the method of finite difference to the solution of a boundary problem for a system of differential equations in partial derivatives 20
- M. F. Timan. On the interrelation between the total and partial best approximations in the mean for functions of many variables 24

MECHANICS

- D. Mangeron. On reduced accelerations of any order in the theory of mechanisms and machines and on some of their extremum properties 27

MATHEMATICAL PHYSICS

- B. G. Korenev. Some plane problems in the theory of thermal waves 29

PHYSICS

- V. V. Alpers, I. I. Gurevich, V. M. Kutukova, A. P. Mishakova, B. A. Nikolsky and L. V. Surkova. An investigation of explosion showers formed by cosmic particles of high energy 33

	<i>Pages</i>
B. B. Govorkov, V. I. Goldansky, O. A. Karpukhin, A. V. Kutsenko and V. V. Pavlovskaya. Cross-sections for photoproduction of π^0 -mesons as dependent on mass numbers of nuclei	37
P. S. Kireyev. The fine structure and Lamb's shift of the $2s_{1/2}$ level for T_α tritium line λ 6560 Å	41
A. A. Logunov, B. M. Stepanov and A. N. Tavkhelidze. On the rôle of bound states in photoproduction processes	45
R. V. Telesnin and I. A. Lednev. On the observation of the magnetic viscosity of ferrites at low temperatures	48
GEOPHYSICS	
M. I. Yudin. Precomputation of the field of the wind and its associated meteorological elements	49
TECHNICAL PHYSICS	
A. A. Vorobiev. Light refraction on crystals and the ionic bond energy	53
ELECTRICAL ENGINEERING	
A. G. Lunts. A method of (1, k)-pole synthesis	55
S. V. Strakhov. The influence of second harmonics in the expansions of inductances and mutual inductances of the stator on the structure of equations for transient processes in synchronous machines	58
V. I. Shestakov. An algebraic method for the synthesis of many-cycle systems of r -position relays	62
CHEMISTRY	
I. L. Knuniants and A. V. Fokin. On nitroperfluoralkylnitrites	67
I. I. Kornilov and L. I. Priakhina. Heat resistance of certain binary, ternary, four- and five-component nickel alloys at 800°	70
B. A. Krentzel, A. V. Topchiev and L. N. Andreyev. The oxidative chlorination of methane	73
A. I. Okunev and V. S. Bovykin. The activity of zinc oxide in lead and copper slags during the fuming process	77
A. D. Petrov, V. A. Ponomarenko and A. D. Snegova. The production and properties of some organosilicic β -alcohols (β -hydroxyalkyltrimethylsilanes)	79
L. Kh. Freidlin and B. D. Polkovnikov. Sequence in the hydrogenation of cyclopentadiene double bonds on Pd- and Pt-black	83
PHYSICAL CHEMISTRY	
D. I. Abugov. On the limit of stable flame propagation in gases at variable pressure	86
I. I. Antipova-Karataeva. Absorption spectra of alum solutions and isomorphous crystals, as related to chromium content	90
N. S. Enikolopian. On the rôle of stable intermediate products in complicated chain reactions	93
D. I. Leikis and E. K. Venstrem. Determination of the zero charge potential of lead dioxide electrodes by hardness measurement	97
G. L. Natanson. Diffusive deposition of aerosols on a cylinder in a flow in the case of small capture coefficients	100
S. I. Popel, O. A. Esin, G. F. Konovalov and N. S. Smirnov. The influence of sulphur on the interfacial tension at the metal-slag boundary	104
GEOLOGY	
S. A. Arkhipov, V. A. Zubakov and Yu. A. Lavrushin. On the glacial-aqueous deposits in the Near-Enissey part of the West-Siberian lowland	107
Yu. M. Vasiliev. On the peculiar features in the facies of the Kungurian from the Near-Caspian region, in connexion with the nature of the South-Eastern surroundings of the Russian Platform	109
F. G. Gurari. On the genesis of Mesocenozoic structures in the southern part of the West-Siberian lowland	113
D. P. Naidin and V. M. Nerodenko. Maestrichtian belemnites from the Ukrainian depression	115
B. P. Sterlin and E. E. Migacheva. On the age of the oldest Jurassic deposits from the Dnieper-Donetz graben	118
G. I. Theodorovich. An attempt of sandstone classification according to composition of its clastic grains and cement	122
MINERALOGY	
V. V. Mathias and A. M. Bondareva. Lithiophosphate, a new mineral	122

<i>PALAEONTOLOGY</i>	<i>Pages</i>
V. N. Shimansky. On the family Pseudonautilidae Hyatt, 1900	127
<i>CYTOLOGY</i>	
Kh. M. Karolinskaya. On the mode of cell multiplication in a developing frog testis	130
I. I. Kiknadze. A cytochemical study of ribonucleic acid in developing eggs of certain invertebrates	133
<i>HYDROBIOLOGY</i>	
G. M. Beliaev and P. V. Ushakov. Certain regularities in the quantitative distribution of bottom fauna in Antarctic waters	137
<i>MICROBIOLOGY</i>	
K. V. Kosikov and O. G. Raevskaya. A contribution to the problem of the adaptability of yeast to saccharose fermentation	141
P. Kh. Rakhno and V. I. Tokhver. On the possibility of molecular nitrogen assimilation by certain soil bacteria at a temperature of 50°	144
<i>PLANT ANATOMY</i>	
M. F. Bugaevsky. The shape of protoplasts in meristem cells killed by frost . .	146
<i>PLANT ECOLOGY</i>	
A. V. Voevodin. The way diocious plants answer to the application of the 2,4-D herbicide	148
A. A. Malyshev. Development and growth processes observed in plants grown in alpine zones of the northern slope of West Caucasus	152
<i>PLANT PHYSIOLOGY</i>	
N. N. Ovchinnikov and N. M. Shikhanova. On the possible causes of differences observed between wheat caryopsis formed in different flowers of the spikelet	155
<i>ZOOLOGY</i>	
N. A. Gladkov. New data concerning vertebrates of Arctic Yakutia (the Tixy bay)	159
P. A. Moiseev. The formation of the living form of <i>Oncorhynchus masu morpha formosanus</i> (Jordan et Oshima) in the basin of the Sedanka-river	163
D. V. Naumov. The life cycle of the hydromedusa <i>Cladonema pacifica</i> Naumov	165
<i>PHYSIOLOGY</i>	
T. N. Sollertinskaya. Electric activity of brain cortex, as affected by the removal of upper jugular sympathetic ganglia	167
V. S. Sheveleva. A contribution to the problem of the interference taking place in the interneuronic synapses between impulses passing along different afferent fibres	170
<i>EMBRIOLOGY</i>	
I. A. Sadov. The formation of perivitelline space in oocytes of <i>Acipenseridae</i>	174

ПОПРАВКИ

В статье А. В. Топчиева, Н. С. Наметкина, Т. И. Чернышевой и С. Г. Дургарьян, помещенной в ДАН, т. 110, № 1, 1956 г., в таблице 2 данные, приведенные в последних двух строках в графе „Давление“, относятся к графе „Т. пл.“, а именно: Т. пл. гексафенилдисиланпропана 209,5—210°, триметилтрифенилдисиланпропана 173—175°.

В статье П. В. Федорова „О расчленении четвертичных каспийских отложений“, помещенной в ДАН, т. 110, № 6 1956 г., все террасы верхнехвалынского горизонта и новокаспийского яруса (см. стр. 1072 и таблицу) имеют отрицательные отметки.

Д. Л. БЕРМАН

**СХОДИМОСТЬ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЛАГРАНЖА,
ПОСТРОЕННОГО ДЛЯ АБСОЛЮТНО НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ И
ФУНКЦИЙ С ОГРАНИЧЕННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 25 VII 1956)

Пусть задана треугольная матрица узлов

$$\begin{array}{ccccccc} x_1^{(1)} & & & & & & \\ x_1^{(2)} & x_2^{(2)} & & & & & \\ \dots & & & & & & \\ x_1^{(n)} & x_2^{(n)} & \dots & x_n^{(n)} & & & \\ \dots & & & & & & \end{array} \quad (1)$$

$$-1 \leq x_1^{(n)} < x_2^{(n)} < \dots < x_n^{(n)} \leq 1 \quad (n = 1, 2, \dots).$$

Введем следующие обозначения:

$$\Delta_n = \max_{k=1,2,\dots,n-1} [(x_{k+1}^{(n)} - x_k^{(n)})].$$

Обозначим через $\mathfrak{S}(a, b)$ число узлов n -й строки матрицы (1), удовлетворяющих неравенствам $a \leq x_j^{(n)} \leq b$ (или $b \leq x_j^{(n)} \leq a$). Пусть

$$\omega_n(x) = \prod_{j=1}^n (x - x_j^{(n)}) \quad (n = 1, 2, \dots);$$

$$l_j^{(n)}(x) = \frac{\omega_n(x)}{(x - x_j^{(n)}) \omega_n'(x_j^{(n)})} \quad (j = 1, 2, \dots, n; n = 1, 2, \dots);$$

$$\lambda_j^{(n)}(x) = \sum_{k=j}^n l_k^{(n)}(x).$$

Для любой функции $f(x)$, определенной в сегменте $[-1, 1]$, можно построить интерполяционный полином Лагранжа $L_n(f, x)$

$$L_n(f, x) = \sum_{k=1}^n f(x_k^{(n)}) l_k^{(n)}(x).$$

Недавно В. И. Крылов ⁽¹⁾ доказал теорему:

Для того чтобы для любой абсолютно непрерывной функции $f(x)$ выполнялось равномерно в сегменте $[-1, 1]$ соотношение

$$L_n(f, x) \rightarrow f(x), \quad n \rightarrow \infty, \quad (2)$$

необходимо и достаточно существование такого числа A , чтобы при любых n, j и $x \in [-1, 1]$ выполнялось неравенство

$$|\lambda_j^{(n)}(x)| \leq A. \quad (3)$$

Хан ⁽²⁾ и С. М. Лозинский ⁽³⁾ доказали теорему:

Для того чтобы для всякой функции $f(x)$, имеющей ограниченное изменение на $[-1, 1]$ и непрерывной в точке $x \in [-1, 1]$, выполнялось в точке x соотношение (2), необходимо и достаточно, чтобы выполнялись условия:

1) В точке x выполняется неравенство

$$|\lambda_j^{(n)}(x)| \leq A(x), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где конечное число $A(x)$ зависит только от x .

2) Если $t \in [-1, 1]$ и отлично от узлов $\{x_k^{(n)}\}_{k=1}^n$, $n = 1, 2, \dots$, то имеют место равенства

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{x_k^{(n)} < t} l_k^{(n)}(x) = 0 \quad \text{при } t < x, \quad (5)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{x_k^{(n)} > t} l_k^{(n)}(x) = 0 \quad \text{при } t > x.$$

Пользуясь указанными теоремами, В. И. Крылов ⁽⁴⁾ установил сходимость интерполяционного процесса Лагранжа, построенного при узлах П. Л. Чебышева

$$x_k^{(n)} = \cos \frac{2n-2k+1}{2n}, \quad k = 1, 2, \dots; \quad n = 1, 2, \dots,$$

в случае, когда $f(x)$ абсолютно непрерывна или имеет ограниченное изменение и непрерывна в заданной точке из $[-1, 1]$.

В настоящей заметке теоремы В. И. Крылова ⁽⁴⁾ распространяются на некоторый широкий класс матриц узлов (1), частным случаем которого являются узлы П. Л. Чебышева.

Теорема 1. Пусть матрица (1) удовлетворяет условиям:

А. В каждой точке $x \in [-1, 1]$ выполняются неравенства:

$$\begin{aligned} \text{при } x_k^{(n)} < x_{k+1}^{(n)} \leq x & \quad |l_k^{(n)}(x)| \leq |l_{k+1}^{(n)}(x)| \quad (n = n_0, n_0 + 1, \dots); \\ \text{при } x \leq x_k^{(n)} < x_{k+1}^{(n)} & \quad |l_k^{(n)}(x)| \geq |l_{k+1}^{(n)}(x)| \quad (n = n_0, n_0 + 1, \dots). \end{aligned}$$

В. Существует неотрицательная убывающая функция $\varphi(h)$, удовлетворяющая условию $\varphi(h) \rightarrow 0$ при $h \rightarrow \infty$, такая, что если $\mathfrak{S}(x, x_k^{(n)}) = h$, то $|l_k^{(n)}(x)| \leq N\varphi(h)$ ($n = n_0, n_0 + 1, \dots$), $-1 \leq x \leq 1$, где N — конечное неотрицательное число.

Тогда интерполяционный процесс Лагранжа $L_n(f, x)$, построенный для абсолютно непрерывной функции $f(x)$, сходится в $[-1, 1]$ равномерно к $f(x)$.

Доказательство. Очевидно, что достаточно доказать справедливость неравенства (3). Пусть $x_p^{(n)} < x < x_{p+1}^{(n)}$ и пусть $j < p^*$, тогда

$$|\lambda_j^{(n)}(x)| \leq \left| \sum_{k=j}^p l_k \right| + \left| \sum_{k=p+1}^n l_k \right|, \quad l_k = l_k^{(n)}(x). \quad (6)$$

Так как $\sum_{k=j}^p l_k$ оценивается точно так же, как $\sum_{k=p+1}^n l_k$, то достаточно

но рассматривать лишь $\sum_{k=p+1}^n l_k$. Очевидно, что

$$\left| \sum_{k=p+1}^n l_k \right| \leq |l_{p+1} + l_{p+2}| + |l_{p+3} + l_{p+4}| + \dots \quad (7)$$

* В противном случае рассуждения упрощаются.

Легко видеть, что при $k \geq p+1$ $\text{sign } l_k(x) = -\text{sign } l_{k+1}(x)$. Поэтому, согласно свойству А матрицы (1), можно неравенство (7) записать в виде

$$|\lambda_{p+1}^{(n)}| \leq (|l_{p+1}| - |l_{p+2}|) + (|l_{p+3}| - |l_{p+4}|) + \dots \leq \\ \leq |l_{p+1}| - (|l_{p+2}| - |l_{p+3}|) - \dots \quad (8)$$

Если опять воспользоваться свойством А матрицы (1), то из (8) вытекает, что

$$|\lambda_{p+1}^{(n)}(x)| \leq |l_{p+1}|. \quad (9)$$

Учитывая свойство В матрицы (1), можно в силу (9) получить неравенство

$$|\lambda_{p+1}^{(n)}(x)| \leq N\varphi(1). \quad (10)$$

Стало быть, из (6) и (9) вытекает

$$|\lambda_j^{(n)}(x)| \leq 2N\varphi(1) < \infty, \quad x \in [-1, 1], \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad n = n_0, n_0 + 1, \dots$$

Теорема 1 доказана.

Замечание. Теорему 1 можно сформулировать в локальном виде. В этом случае достаточно, чтобы условия А и В выполнялись лишь в заданной точке из $[-1, 1]$.

Теорема 2. Пусть n -я строка матрицы (1) составлена из корней полиномов Якоби $Y_n^{(\alpha_n, \beta_n)}(x)$, $-1 \leq \alpha_n, \beta_n \leq -\lambda < 0$, $n = 1, 2, \dots, *$, где λ — сколь угодно малое положительное число.

Тогда для любой абсолютно непрерывной функции $f(x)$ выполняется равномерно в сегменте $[-1, 1]$ соотношение (2).

Если матрица (1) составлена из корней полиномов Лежандра ($\alpha_n = \beta_n = 0$) и $f(x)$ абсолютно непрерывна, то соотношение (2) выполняется в каждой точке из интервала $(-1, 1)$. Сходимость равномерная в любом сегменте вида $[-1 + \varepsilon, 1 - \varepsilon]$, $0 < \varepsilon < 1$.

Доказательство. В моей заметке ⁽⁵⁾ доказано, что матрица (1), составленная из корней полиномов $Y_n^{(\alpha_n, \beta_n)}(x)$, $-1 \leq \alpha_n, \beta_n \leq -\lambda < 0$, $n = 1, 2, \dots$, удовлетворяет условиям А и В теоремы 1. Поэтому первая часть теоремы 2 непосредственно вытекает из теоремы 1. Вторая часть теоремы 2 вытекает из локальной формы теоремы 1 и из того факта, что матрица (1), составленная из корней полиномов Лежандра, удовлетворяет условиям А и В теоремы 1 в локальной форме ⁽⁵⁾.

Теорема 3. Пусть матрица (1) удовлетворяет условиям А и В теоремы 1.

Тогда, если функция $f(x)$ имеет ограниченное изменение на $[-1, 1]$, то соотношение (2) выполняется во всех точках непрерывности $f(x)$.

Для доказательства теоремы 3 достаточно доказать справедливость равенств (5). Докажем второе из равенств (5), первое равенство доказывается таким же образом.

Пусть $x_s < t < x_{s+1}$; тогда из неравенства (9) следует, что

$$\left| \sum_{x_k^{(n)} > t} l_k(x) \right| = |\lambda_{s+1}^{(n)}(x)| \leq |l_{s+1}|.$$

* По определению $Y_n^{(-1, -1)}(x) = \int_{-1}^x P_{n-1}(t) dt$, где $P_n(t)$ — полином Лежандра

Но, согласно условию В,

$$|l_{s+1}| \leq N\varphi\left(\frac{t-x}{\Delta_n}\right), \quad t > x.$$

Поэтому

$$\left| \sum_{x_k^{(n)} > t} l_k(x) \right| \leq N\varphi\left(\frac{t-x}{\Delta_n}\right), \quad t > x. \quad (11)$$

Так как $\Delta_n \rightarrow 0$ ⁽⁶⁾, то из неравенства (11) и свойства функции φ (h) следует, что выполняется (5).

Теорема 4. Пусть n -я строка матрицы (1) составлена из корней полиномов Якоби $Y_n^{(\alpha_n, \beta_n)}(x)$, $-1 \leq \alpha_n, \beta_n \leq 0$, $n = 1, 2, \dots$

Тогда, если функция $f(x)$ имеет ограниченное изменение на $[-1, 1]$, то соотношение (2) выполняется во всех точках непрерывности $f(x)$ и $(-1, 1)$.

Эта теорема непосредственно вытекает из теоремы 3 и из результатов ⁽⁵⁾.

Очевидно, что результаты В. И. Крылова ⁽⁴⁾ являются частными случаями теорем 2 и 4, когда $\alpha_n = \beta_n = -1/2$.

В заключение отмечу, что изложенный метод доказательства носит более элементарный характер, чем метод доказательства из ⁽⁴⁾.

Новгородский государственный
педагогический институт

Поступило
20 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Крылов, ДАН, 105, № 2 (1955). ² H. H a h n, Math. Zs., 1, 115 (1918).
³ С. М. Лозинский, Уч. зап. Ленингр. ун-в., № 55, 84 (1940). ⁴ В. И. Крылов, ДАН, 107, № 3 (1956). ⁵ Д. Л. Берман, ДАН, 60, № 3 (1948). ⁶ P. E r d ö s, P. T u r á n, Ann. of Math., 39, № 4, 703 (1938).

Л. Г. МИХАЙЛОВ *

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ТИПА ЗАДАЧИ РИМАНА ДЛЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 14 IX 1956)

В настоящее время на базе системы дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} &= a(x, y)u + b(x, y)v + f(x, y), \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} &= c(x, y)u + d(x, y)v + g(x, y)\end{aligned}\tag{1}$$

построена теория функций, аналогичная теории аналитических функций. Система (1) в существенном сводится к уравнению

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{z}} = A(z)\bar{U}, \quad U = u + iv.\tag{2}$$

И. Н. Векуа ^(1,3) дал основную формулу

$$U(z) = \varphi(z)e^{\omega(z)},\tag{3}$$

устанавливающую связь $U(z)$ с аналитической функцией $\varphi(z)$ (см. также ⁽⁷⁾). С помощью этой формулы на решения системы (1) переносятся такие теоремы, как теорема единственности, принцип аргумента, теорема Лиувилля и т. д. Для системы (1) И. Н. Векуа ⁽¹⁾ рассмотрел также граничную задачу вида $\alpha u + \beta v$, аналогичную задаче Гильберта в теории аналитических функций *.

В настоящей работе изучается граничная задача, аналогичная второй основной граничной задаче теории аналитических функций — задаче Римана. Изучаются также более общие краевые задачи.

Будем рассматривать уравнение (2) во всей плоскости E при условии, что коэффициент $A(z)$ ограничен в E , непрерывен в E за исключением конечного числа спрямляемых линий Жордана, и на бесконечности удовлетворяет условию $|A(z)| \leq M/|z|^\alpha$, $\alpha > 1$. В уравнении (2) и всюду в дальнейшем производная $\partial U/\partial \bar{z}$ понимается в обобщенном смысле Помпею ⁽¹⁾.

Формула (3) допускает обращение ⁽³⁾. Формулу обращения можно записать в виде

$$U(z) = \varphi(z) \left[1 + \iint_E \overset{\circ}{\Gamma}_1(z, \zeta) dT + \iint_E \overset{\circ}{\Gamma}_2(z, \zeta) dT \right],\tag{4}$$

где $\overset{\circ}{\Gamma}_1, \overset{\circ}{\Gamma}_2$ — резольвенты некоторого интегрального уравнения (ср. ⁽³⁾). Формулы (3) и (4) устанавливают взаимно-однозначное соответствие между регулярными ⁽¹⁾ решениями уравнения (2) и аналитическими функциями. Этот факт широко используется ниже. Принимая за $\varphi(z)$ в формуле (4) степени z^k и iz^k , получим аналоги степеней $U_{2k}(z)$ и $U_{2k+1}(z)$. Строим

* Здесь мы следуем терминологии Ф. Д. Гахова ⁽⁵⁾.

затем аналог многочлена $U_P(z) = \sum_{k=0}^{2n+1} A_k U_k(z)$, где A_k — вещественные постоянные.

Аналог обобщенной теоремы Лиувилля. Если $U(z)$ — регулярное решение уравнения (2), непрерывное во всей плоскости и имеющее конечный порядок на бесконечности, то $U(z) \equiv U_P(z)$.

Пусть L — совокупность конечного числа гладких линий Жордана.

Определение. Кусочно-регулярным решением уравнения (2) называется решение, регулярное всюду вне L и непрерывно продолжимое ⁽⁶⁾ на L слева и справа за исключением разве концов, вблизи которых оно допускает оценку $|U(z)| \leq K/|z-c|^\lambda$, $\lambda < 1$.

Ограничимся далее случаем, когда L состоит из замкнутых контуров и пусть S^+ и S^- обозначают то же, что в обычной задаче Римана ⁽⁶⁾.

Постановка задачи Римана. Найти кусочно-регулярное решение уравнения (2), имеющее конечный порядок на бесконечности, по краевому условию на контуре

$$U^+(t) = G(t)U^-(t) + g(t), \quad (5)$$

где $G(t)$ и $g(t)$ — заданные функции точек контура, удовлетворяющие условию Гельдера, и $G(t) \neq 0$.

Метод решения задачи подобен методу Ф. Д. Гахова ⁽⁵⁾ решения обычной задачи Римана. Он состоит в последовательном упрощении краевого условия с помощью обычной канонической функции $\chi(z)$ ⁽⁶⁾. Однородное краевое условие (5) сводится к условию непрерывности на контуре $\frac{U^+(t)}{\chi^+(t)} = \frac{U^-(t)}{\chi^-(t)}$. Применяя аналог обобщенной теоремы Лиувилля, получаем общее решение однородной задачи

$$U(z) = V_P(z)\chi(z), \quad (6)$$

где $V_P(z)$ — аналог многочлена для уравнения $\frac{\partial V}{\partial z} = A(z) \frac{\overline{\chi(z)}}{\chi(z)} V$.

Отметим, что решение однородной задачи можно получить непосредственно из формулы (4). Неоднородное краевое условие (5) преобразуется к задаче определения кусочно-регулярной функции $U(z)/\chi(z)$ по скачку $\frac{U^+(t)}{\chi^+(t)} - \frac{U^-(t)}{\chi^-(t)} = \frac{g(t)}{\chi^+(t)}$. Общее решение неоднородной задачи дается формулой

$$U(z) = \chi(z)[V_P(z) + W(z)], \quad (7)$$

где $W(z)$ — аналог интеграла типа Коши.

Пусть $\text{Ind}_L G(t) = \kappa$. Относительно решений, исчезающих на бесконечности, исходя из формул (6) и (7), доказывается следующая теорема.

Теорема. Однородная задача Римана при $\kappa > 0$ имеет 2κ линейно независимых решений (в смысле комбинаций с вещественными коэффициентами). При $\kappa \leq 0$ она не имеет решений. Неоднородная задача при $\kappa \geq 0$ разрешима всегда, а при $\kappa < 0$ необходимые и достаточные условия разрешимости состоят в выполнении $(-\kappa)$ равенств вида $\int_L \psi(t) t^k dt = 0$

$k = 0, 1, \dots, -\kappa - 1$, где $\psi(t)$ — определенная функция, выражающаяся через $G(t)$, $g(t)$ и $A(z)$.

Аналогично решается задача Римана в случае разомкнутых контуров или разрывных коэффициентов. Задача Римана — Газемана $U^+[\alpha(t)] = G(t)U^-(t) + g(t)$ решается примерно в том же плане, что обычная задача Римана — Газемана ⁽⁸⁾. Рассмотрим еще следующие две задачи.

Задача 1 с краевым условием

$$a(t) U^+(t) + \int_L A(t, \tau) U^+(\tau) d\tau - \left[b(t) U^-(t) + \int_L B(t, \tau) U^-(\tau) d\tau \right] = f(t).$$

Задача 2. Найти пару функций: $U(z)$ — регулярное решение уравнения (2) в S^+ , и $\Phi(z)$, аналитическую в S^- , по краевому условию

$$a(t) U^+(t) + \int_L A(t, \tau) U^+(\tau) d\tau - \sum_{k=0}^n \left[b_k(t) \frac{d^k \Phi^-(t)}{dt^k} + \int_L B_k(t, \tau) \frac{d^k \Phi^-(\tau)}{d\tau^k} d\tau \right] = f(t).$$

Пользуясь представлением обобщенным интегралом типа Коши, задачи 1 и 2 можно свести к эквивалентным сингулярным интегральным уравнениям (ср. (9)).

Автор горячо благодарен Ф. Д. Гахову за предложенную тему и руководство работой, а также И. Н. Векуа за ценные указания при опубликовании работы.

Таджикский государственный
университет

Поступило
21 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Н. Векуа, Матем. сборн., **31** (73) : 2 (1952). ² И. Н. Векуа, ДАН, **89**, № 5 (1953). ³ И. Н. Векуа, ДАН, **98**, № 2 (1954). ⁴ И. Н. Векуа, ДАН, **100**, № 2 (1955). ⁵ Ф. Д. Гахов, Изв. Каз. физ.-матем. общ., **14**, 3 (1949). ⁶ Н. И. Мусхелишвили, Сингулярные интегральные уравнения, М.—Л., 1946. ⁷ L. Bers, Theory of Pseudo-analytic Functions, N. Y., 1953. ⁸ Д. А. Квеселав, Тр. Тбилисс. матем. инст., **16** (1948). ⁹ Ю. М. Крикунов, ДАН, **85**, № 2 (1952).

М. РОЗЕНБЛАТ-РОТ

ЭНТРОПИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 20 VII 1956)

1. Энтропия полей. Пусть имеется некоторое пространство с мерой $(\mathfrak{M}, \mathcal{S}, \mu)$; с помощью плотности $p(x)$ ($x \in \mathfrak{M}$) по μ определяется полнота вероятностей A . С помощью простой и разумной аксиоматики можно показать, что мера неопределенности, создаваемой полем A , определяется единственным образом как

$$H(A) = - \int_{\mathfrak{M}} p(x) \log p(x) \mu(dx)$$

(будем предполагать, что этот интеграл существует). Эта энтропия обладает всеми элементарными свойствами энтропии конечного поля ^(2,3). При обозначениях из ^(2,3) имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Если $H(A)$ и $H(AB)$ существуют и конечны, то и $H_A(B)$ существует и конечна, причем $H(AB) = H(A) + H_A(B)$.

Если $P(\mathfrak{M}) < 1$, то имеется неполное поле; энтропия его определяется с помощью того же интеграла. Эта энтропия обладает рядом элементарных свойств, очень близких к свойствам энтропии полных полей. Если $H_A(B) = \int_{\mathfrak{M}} H(B|x) p(x) \mu(dx)$, то теорема 1 остается

в силе. Ниже будем рассматривать только полные поля.

2. Энтропия процессов. Пусть даны пространства с мерами $(\mathfrak{M}_t, \mathcal{S}_t, \mu_t)$ ($t \in I$, $I = \{t\}$ — множество всех целых чисел). Пусть имеется стохастический процесс A с состояниями $x_t \in \mathfrak{M}_t$. Предположим, что процесс задается с помощью плотностей цепочек $x^{[t, t+n-1]} = (x_t, \dots, x_{t+n-1})$ ($t \in I$, $n = 1, 2, \dots$) по мере $\mu^{[t, t+n-1]} = \mu_t \times \dots \times \mu_{t+n-1}$; пусть они $\pi^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]})$, и обозначим через $A^{[t, t+n-1]}$ поле этих цепочек. Пусть $x = (\dots, x_t, \dots, x_{t+n-1}, \dots)$ и $f^{[t, t+n-1]}(x) = -n^{-1} \log \pi^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]})$.

Определение. Энтропией процесса A в момент t называется величина

$$H_t(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} M f^{[t, t+n-1]}(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{-1} H(A^{[t, t+n-1]})^*,$$

(если этот предел существует).

Теорема 2. Для существования $H_t(A)$ необходима и достаточна суммируемость по Чезаро $C(1)$ последовательности условных энтропий $H(A_{t+n} | A^{[t, t+n-1]})$, причем $H_t(A)$ является пределом этих сумм (сходимость понимается в смысле стремления к конечному числу или к $\pm \infty$). Всегда существует (конечный или бесконечный) предел

$$\tilde{H}_t^{(m)}(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} H(A^{[t, t+n-1]} | A^{[t+m, t+n]}) \quad (t \in I, m \geq 1).$$

* M — математическое ожидание, D — дисперсия,

Пусть

$$\lambda_t^{(m)}(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} n^{-1} H(A^{[t, t+m-1]} | A^{[t+m, t+n]})$$

если этот предел существует).

Теорема 3. Если одна из величин $H_t(A)$, $H_{t+m}(A)$ существует и конечна, то для того, чтобы и вторая величина существовала, была конечна и $H_t(A) = H_{t+m}(A)$, необходимо и достаточно, чтобы $\lambda_t^{(m)}(A) = 0$. Для этого достаточно, чтобы $|\tilde{H}_t^{(m)}(A)| < \infty$ *.

В дальнейшем будем исключать те процессы, для которых $\tilde{H}_t^{(m)}(A) = +\infty$ по крайней мере для одного t и одного m **.

Теорема 4. Для процессов с дискретными множествами состояний ***, энтропия, если она существует, не зависит от времени, т. е. $H_t(A) = H(A) = \text{const } (t \in I)$.

3. Свойства $\mathcal{G}_t(A)$, $\mathcal{G}(A)$.

Определение. Если $f^{[t, t+n-1]}(x)$ стремится по вероятности к $H_t(A)$, будем говорить, что имеет место свойство $\mathcal{G}_t(A)$. Если это свойство имеет место для всех $t \in I$, будем говорить, что имеет место свойство $\mathcal{G}(A)$.

Пусть

$$g^{[t, t+n]}(x) = -\log \{ \pi^{[t, t+n]}(x^{[t, t+n]}) / \pi^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]}) \} \quad (t \in I, n \geq 1).$$

Теорема 5. Для того чтобы процесс A обладал свойством $\mathcal{G}_t(A)$, необходимо и достаточно, чтобы последовательность случайных величин $g^{[t, t+n]}(x)$ ($n = 1, 2, \dots$) подчинялась закону больших чисел. Для этого достаточно, чтобы $\lim_{n \rightarrow \infty} Df^{[t, t+n-1]}(x) = 0$.

Пусть имеется марковская цепь A с коэффициентами эргодичности ⁽⁴⁾ $\alpha_{i, i+1}$.

Теорема 6. Достаточными условиями для того, чтобы марковский процесс A обладал свойством $\mathcal{G}_t(A)$, являются:

$$\text{а) } \lim_{n \rightarrow \infty} n^{\beta-2} \sum_{k=0}^{n-1} Dg^{[t, t+k]}(x) = 0, \text{ если } \alpha_{i, i+1} > 0 \quad (1 \leq i < \infty),$$

$$\eta_n = \max_{1 \leq i \leq n-1} (1 - \alpha_{i, i+1}), \quad 1 - \eta_n^{1/2} = O(n^{-\beta}) \quad (0 \leq \beta < 1);$$

$$\text{б) } \lim_{n \rightarrow \infty} n^{-1} \sum_{k=0}^{n-1} Dg^{[t, t+k]}(x) = 0 \text{ во всех случаях.}$$

Пусть

$$\varphi_{t, m, n}(x) = -n^{-1} \log \{ \pi^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]}) / \pi^{[t+m, t+n-1]}(x^{[t+m, t+n-1]}) \}.$$

Теорема 7. Если процесс A обладает одним из двух свойств $\mathcal{G}_t(A)$, $\mathcal{G}_{t+m}(A)$ ($m \geq 1$), то для того, чтобы он обладал и другим свойством, необходимо и достаточно, чтобы последовательность $\varphi_{t, m, n}(x)$ стремилась по вероятности к $\lambda_t^{(m)}(A)$ при $n \rightarrow \infty$.

Теорема 8. Для того чтобы процесс A обладал свойством $\mathcal{G}(A)$, необходимо и достаточно, чтобы он обладал свойством $\mathcal{G}_{t_0}(A)$ для некоторого t_0 и чтобы последовательность $\varphi_{t, m, n}(x)$ стремилась по вероятности к $\lambda_t^{(m)}(A)$ при всех $t \in I$, $m > 0$ ($n \rightarrow \infty$).

Пусть $L(P)$ — пространство всех действительных функций $f(x)$ переменной $x \in \mathfrak{A}$ таких, что $M|f(x)| < \infty$.

* Это условие выполняется для всех $t \in I$, $m \geq 0$, если множества \mathfrak{A}_τ ($\tau \in I$) конечны и $\mu_\tau(x_\tau) = 1$, $x_\tau \in \mathfrak{A}_\tau$. Следовательно, в этом случае или $H_t(A) \equiv H(A)$ ($t \in I$), или ни для какого $t \in I$ не существует $H_t(A)$.

** В этих условиях, если $H_t(A)$, $H_{t+m}(A)$ существуют и конечны, то $H_t(A) \leq H_{t+m}(A)$ ($m = 1, 2, \dots$).

*** $\mu_\tau(x_\tau) = 1$, $x_\tau \in \mathfrak{A}_\tau$, $\tau \in I$.

Теорема 9. Последовательность функций $f^{[t, t+n-1]}(x)$ ($n = 1, 2, \dots$) не может стремиться в среднем (в $L(P)$) ни к какой постоянной, кроме $H_t(A)$. Если процесс A не обладает конечной энтропией, то последовательность функций $f^{[t, t+n-1]}(x)$ не может стремиться ни к какой функции из $L(P)$ в среднем.

Пример. Пусть имеется марковская цепь с двумя состояниями, так что если $p_{ij}^{(k)}$ является вероятностью перехода за время $(k-1, k)$ из состояния i в состояние j , то $p_{11}^{(k)} = p_{22}^{(k)} = 1 - \alpha_k$; $p_{12}^{(k)} = p_{21}^{(k)} = \alpha_k$, причем $\lim_{k \rightarrow \infty} \alpha_k = 2\alpha$ ($0 < \alpha < 1$). Из теорем 2 и 3 можно получить, что $H_t(A) = H(A) = -\alpha \log \alpha - (1 - \alpha) \log (1 - \alpha)$. Из теорем 6—8, имея в виду что $\beta = 0$, следует, что имеется $\mathcal{G}_t(A)$ и даже $\mathcal{G}(A)$.

4. Оценка объема (числа) стандартных цепочек; применение к теории кодирования. Пусть λ ($0 < \lambda < 1$) — некоторое заданное постоянное число и пусть $N^{[t, t+n-1]}(\lambda)$ — некоторая часть из

$$\mathfrak{U}^{[t, t+n-1]} = \mathfrak{U}_t \times \dots \times \mathfrak{U}_{t+n-1},$$

так что: 1) $P[N^{[t, t+n-1]}(\lambda)] \geq \lambda$; 2) $\mu^{[t, t+n-1]}[N^{[t, t+n-1]}(\lambda)]$ имеет наименьшее значение при соблюдении первого условия. Существование $N^{[t, t+n-1]}(\lambda)$ легко доказать.

Теорема 10. Если процесс A обладает свойством $\mathcal{G}_t(A)$, то имеется не зависящий от λ ($0 < \lambda < 1$) предел

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{-1} \log \mu^{[t, t+n-1]}[N^{[t, t+n-1]}(\lambda)] = H_t(A).$$

Допустим, что имеется некоторый текст, представляющий собой последовательность символов (букв), принадлежащих некоторой группе (алфавит) с r элементами. Мы будем рассматривать этот текст как некоторый (нестационарный или стационарный) стохастический процесс с конечной энтропией $H_t(A)$ и со свойством $\mathcal{G}_t(A)$. Пусть ставится вопрос о кодировании данного текста в том же алфавите, так что декодирование возможно. Каждая n -членная цепочка $x^{[t, t+n-1]}$ данного текста имеет определенную вероятность; пусть $\sigma^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]})$ — длина цепочки кодированного текста, в которую переходит цепочка $x^{[t, t+n-1]}$ после кодирования. Пусть $\rho^{(t)} = \limsup_{n \rightarrow \infty} n^{-1} M \sigma^{[t, t+n-1]}(x^{[t, t+n-1]})$ — коэффициент сжатия данного текста в момент t кодированием.

Теорема 11. Если поступающий текст имеет статистическую структуру (нестационарного или стационарного) процесса A с r состояниями, обладающего свойством $\mathcal{G}_t(A)$, то нижняя грань коэффициента сжатия $\rho^{(t)}$ данного текста по всем кодам равна $H(A) / \log r$ для всех t .

5. Стационарные процессы.

Теорема 12. Для стационарных процессов энтропия $H(A)$ (конечная или бесконечная) существует всегда.

Пусть T — оператор сдвига, т. е. если $x \in \mathfrak{U} = \dots \times \mathfrak{U}_{-1} \times \mathfrak{U}_0 \times \mathfrak{U}_1 \times \dots$ то $x' = Tx \in \mathfrak{U}$, причем $x'_\tau = x_{\tau+1}$ ($\tau \in I$). Пусть также $x^{[0, n-1]} = x^{(n)}$; $\pi^{[0, n-1]}(x^{[0, n-1]}) = \pi^{(n)}(x^{(n)})$; $g^{[-n, 0]}(x) = g_n(x)$; $f^{[0, n-1]}(x) = f_n(x)$; $\mu^{[0, n-1]} = \mu^{(n)}$; $N^{[0, n-1]}(\lambda) = N^{(n)}(\lambda)$.

Теорема 13. Для того чтобы стационарный процесс A обладал свойством $\mathcal{G}(A)$, необходимо и достаточно, чтобы последовательность случайных величин $g^{[0, n]}(x) = g_n(T^n x)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) подчинялась закону больших чисел.

Следовательно, эргодичность не необходима для $\mathcal{G}(A)$.

Теорема 14. Пусть имеется стационарный процесс с любым множеством состояний, такой, что: а) $g_n(x) \in L(P)$; б) существует некоторая функция $g(x) \in L(P)$ такая, что последовательность $g_n(x)$ при $n \rightarrow \infty$ стремится в среднем (в $L(P)$) к $g(x)$. Тогда последовательность

$h(x)$ стремится в среднем к некоторой инвариантной функции $h(x)$.
В случае эргодичности имеет место свойство $\mathcal{G}(A)$ *.

Теорема 15. Пусть имеется стационарный, эргодический процесс, для которого условия а), б) теоремы 14 выполняются. Тогда последовательность случайных величин $g_n(T^n x)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) подчиняется закону больших чисел.

Пусть A — стационарная простая марковская цепь с множеством состояний \mathfrak{M} (причем в \mathfrak{M} дана σ -алгебра \mathcal{S} и мера μ), стационарная плотность $p(x)$ (по μ) и плотность (по μ) переходных вероятностей $q(x, y)$.

Теорема 16. Если A стационарная, простая, равномерно эргодическая ⁽⁶⁾ марковская цепь и для некоторого $\delta > 0$ $M|\log q(x, y)|^{2+\delta} < \infty$, причем энтропия конечна, то распределение случайной величины $n^{-1/2}[\log \pi^{(n)}(x^{(n)}) + nH(A)]$ сходится к нормальному распределению с параметрами $(0, \sigma^2)$, где σ^2 определяется по вероятностям (безусловной и переходным) цепи A .

Пусть u_λ определяется из $\lambda = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{u_\lambda} \exp(-1/2 x^2) dx$.

Теорема 17. В условиях теоремы 16

$$\log \mu^{(n)}[N^{(n)}(\lambda)] = nH(A) + \sqrt{n} \sigma u_\lambda + o(\sqrt{n})^{**}.$$

Автор выражает глубокую благодарность А. Н. Колмогорову за помощь при выполнении этой работы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
20 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Розенблат - Рот, Тр. 3-го Всесоюзн. матем. съезда, М., 1956, 2, стр. 132.
С. Е. Шаппон, Bell. Syst. Techn. J., 27, 379, 623 (1948). ³ А. Я. Хинчин, Усп. матем. наук, 8, 3, 55 (1953). ⁴ Р. Л. Добрушин, ДАН, 102, № 1 (1955).
В. М. Смиллап, Ann. Math. Stat., 24, 2 (1953). ⁶ Е. Б. Дынкин, Укр. матем. журн., 6, 1 (1954). ⁷ А. А. Юшкевич, Усп. матем. наук, 8, 5, 57 (1953).

* Если множество состояний конечно, то в ⁽⁶⁾ доказываем, что $H(A)$ существует, конечна и что условия а), б) выполняются.

** При предположении, что множество состояний конечно, теоремы 16 и 17 доказаны в ⁽⁷⁾.

В. С. СКВОРЦОВ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕТОК К РЕШЕНИЮ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 21 IX 1956)

В работе исследуются условия применимости метода конечных разностей к решению первой краевой задачи для системы линейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка с постоянными коэффициентами, эллиптического типа в n -мерном пространстве. С помощью построенной фундаментальной матрицы при некоторых дополнительных предположениях доказывается существование решения конечноразностного приближения такой системы. Без использования «принципа максимума» (в рассматриваемом случае он не применим) дается оценка погрешности конечноразностного решения граничной задачи для системы второго порядка с постоянными коэффициентами в пространстве двух и трех измерений.

Пусть дана бесконечная прямоугольная решетка в пространстве измерений с одинаковым шагом h по направлениям всех координатных осей. Точки решетки имеют координаты, кратные h ; будем их обозначать через $(j_1 h, \dots, j_n h) = jh$. Значение функции u в такой точке будем обозначать через u_j (j_1, \dots, j_n — целые числа). Будем также пользоваться обычными векторными обозначениями. Обозначим через δ оператор вращения и условимся считать:

$$\delta_1^{k_1} \dots \delta_n^{k_n} u(x_1, \dots, x_n) = u(x_1 + k_1 h, \dots, x_n + k_n h) = \\ = u[(j_1 + k_1)h, \dots, (j_n + k_n)h] = u_{j_1+k_1, \dots, j_n+k_n} = u_{j+k}^*.$$

Производные, входящие в дифференциальные уравнения, будем заменять по схеме

$$\left(\frac{\partial^{l_1 + \dots + l_n} u}{\partial x_1^{l_1} \dots \partial x_n^{l_n}} \right)_j \sim \frac{1}{h^{l_1 + \dots + l_n}} \sum_{k \in M} C_k^{(l_1, \dots, l_n)} u_{j+k},$$

где C_k — постоянные коэффициенты, не зависящие от h ; M — некоторое конечное множество целочисленных точек, например вида $(0, 0, \dots, 0, \pm 1, 0, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, 0, \pm 1)$ и т. д.

Рассмотрим конечноразностную систему уравнений с постоянными коэффициентами

$$\sum_{k \in M} A_k u_{j+k} = f_j, \quad (1)$$

являющуюся разностным приближением некоторой системы линейных дифференциальных уравнений порядка s в частных производных с постоянными коэффициентами, эллиптического типа. Здесь A_k — заданные постоянные квадратные матрицы; u и f — матрицы-столбцы.

Фундаментальную матрицу для разностной системы (1) определяем по аналогии с ее определением для системы дифференциальных уравнений. Аналогично методу, которым строится фундаментальная матрица для системы дифференциальных уравнений, строим по разложениям Фурье

* Здесь $x_1 = j_1 h, \dots, x_n = j_n h$.

начала формально, фундаментальную матрицу для нашей системы (1) в виде

$$g_j = \frac{1}{(2\pi h)^n} \int_{-\pi}^{+\pi} \dots (n) \dots \int_{-\pi}^{+\pi} e^{-i(j, x)} A^{-1}(x) dx \quad (2)$$

частное решение этой системы в виде

$$u_j = h^n \sum_{l=-\infty}^{+\infty} g_{j-l} f_l, \quad \text{где } A(x) = \sum_{k \in M} e^{-i(k, x)} A_k. \quad (3)$$

Предполагается, что матрица $A(x)$ обратима при $x \neq 0$. В зависимости от порядка особенности матрицы $A^{-1}(x)$ в нуле, следуя идее Бохера, находим поправку к интегралу (2) так, чтобы он был всегдаходящимся. Именно, если разложение $A(x)$ по степеням x начинается с x^m и $m > n$, то предполагается, что матрица группы младших членов обратима при $x \neq 0$; в этом случае фундаментальную матрицу (2) можно записать так:

$$g_j = \frac{1}{(2\pi h)^n} \int_{-\pi}^{+\pi} \dots (n) \dots \int_{-\pi}^{+\pi} \left\{ e^{-i(j, x)} - \sum_{l=0}^{\nu-1} \frac{(-i)^l (j, x)^l}{l!} \right\} A^{-1}(x) dx, \quad (4)$$

где ν — любое из чисел $0, 1, 2, \dots, m$ такое, что $m - \nu < n$.

Для трехмерного случая доказываются следующие две теоремы, обобщающие соответствующую теорему Даффина (1), доказанную им для разностного оператора Лапласа. Первая из этих теорем позволяет оценить поведение фундаментальной матрицы разностной системы уравнений, являющейся приближением эллиптической системы линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами, однородных по порядку дифференцирования. Вторая теорема дает оценку для этого случая отклонения разностной фундаментальной матрицы от точной фундаментальной матрицы.

Теорема 1.

$$g_k = \begin{cases} O\left(\frac{1}{h}\right) & (k=0), \\ O\left(\frac{1}{h|k|}\right) & (k \neq 0); \end{cases} \quad \frac{\partial^{l_1+l_2+l_3} g_k}{\partial k_1^{l_1} \partial k_2^{l_2} \partial k_3^{l_3}} = \begin{cases} O\left(\frac{1}{h}\right) & (k=0), \\ O\left(\frac{1}{h|k|^{1+l_1+l_2+l_3}}\right) & (k \neq 0); \end{cases}$$

$$\frac{(\delta_1-1)^{l_1} (\delta_2-1)^{l_2} (\delta_3-1)^{l_3} g_k}{h^{l_1+l_2+l_3}} = \begin{cases} O\left(\frac{1}{h}\right) & (k=0), \\ O\left(\frac{1}{(h|k|)^{1+l_1+l_2+l_3}}\right) & (k \neq 0). \end{cases}$$

Теорема 2. $g_k = \varphi(y) + O(h/|y|^2)$, где $\varphi(y)$ — фундаментальная матрица дифференциального оператора системы в точке $y = hk$ с особенностью в нуле, причем $|y| = h|k| = [(hk_1)^2 + (hk_2)^2 + (hk_3)^2]^{1/2}$.

Далее доказано существование и единственность конечноразностного решения первой граничной задачи. Пусть в n -мерном пространстве с прямоугольной системой координат (x_1, \dots, x_n) задана некоторая конечная область D , ограниченная кусочно-гладкой поверхностью Γ . Пусть D_h — решетчатая область, соответствующая области D ; Γ_h — множество граничных точек области D_h ; D_h^* — решетчатая область, соответствующая любой подобласти D^* , целиком лежащей внутри D .

Пусть дана эллиптическая система дифференциальных уравнений

$$\mathfrak{B}(\partial/\partial x) u(x) = f \quad (5)$$

граничными условиями

$$u(x)|_{\Gamma} = \varphi, \quad (6)$$

где $\mathfrak{B}(\partial/\partial x)$ — линейный матричный оператор второго порядка вариационного типа, размера $p \times p$, с постоянными коэффициентами; u, f, φ — столбцовые матрицы из p функций. Предполагается, что f и φ непрерывно дифференцируемы, соответственно, в D и на Γ . Пусть конечноразностное приближение системы (5) в точке j будет система

$$\{\mathfrak{A}(\delta)u\}_j = \sum_{k \in M} A_k u_{j+k} = f_j \quad (6)$$

с граничными условиями

$$u|_{\Gamma} = \varphi|_{\Gamma_h} \quad (7)$$

(за значения функций на границе Γ_h могут быть приняты заданные значения их в ближайших точках Γ).

Предполагается, что левые части уравнений (7) получаются как «вариационные» уравнения при исследовании на минимум суммы $h^n \sum_{D_h} B(u, u)$, где $B(u, u)$ — неотрицательная квадратичная форма, зависящая от первых разностных отношений (взятых вперед или назад только с одним шагом) и самих функций.

Доказывается, что для всякой вектор-функции w , определенной на решетке, справедливо неравенство

$$h^n \sum_{D_h^*} B(w, w) \leq c_1 h^n \sum_{D_h} \sum_{k=1}^p (w^{(k)})^2 + c_2 h^n \sum_{D_h} \sum_{k=1}^p \{\mathfrak{A}^{(k)}(\delta)w\}^{2*}. \quad (8)$$

Здесь константы c_1 и c_2 зависят лишь от области D_h и кратчайшего расстояния между границами Γ_h^* и Γ_h , но не от h ; $\mathfrak{A}^{(k)}(\delta)w$ — левая часть k -го уравнения системы (7). С помощью этого неравенства теория Кранта — Фридрихса — Леви ⁽²⁾ переносится для доказательства существования решения задачи (7), (8) и сходимости этого решения к решению задачи (5), (6) (граничные условия удовлетворяются в среднем). В частности, эти рассуждения применимы для уравнений теории упругости.

Наконец, существенно используя понятие фундаментальной матрицы, дается оценка погрешности метода сеток для задачи (5), (6) в случае двух и трех измерений. Дополнительно предполагается, что уравнения системы (5) однородны по порядку дифференцирования, функции φ трижды непрерывно дифференцируемы на Γ ; в этом случае решение задачи (5), (6) также трижды непрерывно дифференцируемо в $D \cup \Gamma$ и, следовательно,

$$\mathfrak{A}(\delta)u = \mathfrak{B}(\partial/\partial x)u + O(h); \quad (9)$$

предполагается далее, что $A(x) = \sum_{k \in M} A_k e^{-i(h, x)}$ и $\mathfrak{B}(-ix)$ обратимы. Обозначим через ε отклонение решения u_h конечноразностной задачи (7), (8) от решения $u(x)$ соответствующей задачи (5), (6), т. е. $\varepsilon = u_h - u(x)$. Имеем $\mathfrak{A}(\delta)u(x) = \mathfrak{B}(\partial/\partial x)u(x) + O(h) = f - \xi h$, где $\xi = O(1)$.

Тогда для каждой точки решетки получим:

$$\mathfrak{A}(\delta)\varepsilon = \xi h, \quad \varepsilon|_{\Gamma_h} = O(h) = \eta h, \quad \text{где } \eta = O(1). \quad (10)$$

Рассмотрим вспомогательную систему, не связанную с граничными условиями:

$$\mathfrak{A}(\delta)w = \xi h. \quad (11)$$

* Это неравенство обобщает на случай систем разностных уравнений с переменными коэффициентами неравенство, установленное для разностного оператора Лапласа в работе ⁽²⁾.

3 случае трех измерений одно из частных решений этой системы есть $\omega_j = h^3 \sum_{k \in D_h} g_{j-k}(h\xi_k)$, g — фундаментальная матрица системы (12). (13)

Лемма. Если $|\xi_k| \leq N$ при $k \in D_h$, то $\left| h^3 \sum_{k \in D_h} g_{j-k}\xi_k \right| \leq CN$, где константа C не зависит от h и ξ_k , а зависит лишь от области D_h . Тогда $\omega = O(h) = \psi h$, где $\psi = O(1)$. (14)

Рассмотрим вспомогательную функцию $v = \varepsilon - \omega$. Применяя к ней оператор $\mathfrak{A}(\delta)$, на основании (11), (12) и (14) получим

$$\mathfrak{A}(\delta)v = 0, \quad v|_{\Gamma_h} = \zeta h, \quad \text{где } \zeta = O(1). \quad (15)$$

Построим вектор-функцию Φ в точках решетки D_h , отдельные составляющие которой сообщали бы минимум сумме

$$h^3 \sum_{D_h} \sum_{j=1}^3 (\Phi_{x_j}^2 + \Phi_{x_j}^2) = h^3 \sum_{D_h} B_1(\Phi, \Phi)^*; \quad \Phi|_{\Gamma_h} = v|_{\Gamma_h}. \quad (16)$$

«Производную», в которую входит значение Φ в точке, лежащей вне D_h , будем считать равной нулю.) Существование такой функции известно: это будет «решетчато-гармоническая» функция, так как сумма (16) порождает разностное уравнение Лапласа.

На основании (15) и принципа максимума для гармонической функции Φ получим $h^3 \sum_{D_h} B_1(\Phi, \Phi) = O(h)$, а следовательно,

$$h^3 \sum_{D_h} B(\Phi, \Phi) = O(h), \quad h^3 \sum_{D_h} B(v, v) = O(h). \quad (17)$$

Применяя теперь к функции v неравенство

$$h^3 \sum_{D_h} \omega^2 \leq c_1 h^2 \sum_{\Gamma_h} \omega^2 + c_2 h^3 \sum_{D_h} \sum_{j=1}^3 \omega_{x_j}^2, \quad (18)$$

доказанное в работе (2), на основании (15) и (17) получим $h^3 \sum_{D_h} v^2 = O(h)$.

На основании (17), (18) и (9) показывается, что

$$h^2 \sum_{D_h^*} |v_{x_i x_j}|^2 = O(h) \quad (i, j, \dots = 1, 2, 3). \quad (19)$$

Из (19) и одного неравенства работы (2) следует, что разность значений v в двух произвольных точках D_h^* $v_1 - v_2 = O(\sqrt{h})$. Отсюда нетрудно показать, что $v_1 = O(\sqrt{h})$, а следовательно, и $v = O(\sqrt{h})$. Тогда на основании (14) и того, что $\varepsilon = v + \omega$, получим $\varepsilon = O(\sqrt{h})$ для всех внутренних точек. Константа, содержащаяся в $O(\sqrt{h})$, зависит от размеров области D^* .

Оценка погрешности решения в граничных точках проводится в среднем. Показано, что в этих точках погрешность будет порядка $O\{(r+h)^2\}$, где r — толщина граничного слоя, по которому проводится усреднение. Подобные оценки погрешности справедливы и для двумерного случая.

Львовский
торгово-экономический институт

Поступило
6 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ R. Duffin, Duke Math. J., 20, № 2, 233 (1953). ² Р. Курант, К. Фридрихс, Г. Леви, Усп. матем. наук, в. 8, 125 (1941).

* Здесь под Φ понимается одна из составляющих вектора Φ .

М. Ф. ТИМАН

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОЛНЫМ И ЧАСТНЫМИ НАИЛУЧШИМИ ПРИБЛИЖЕНИЯМИ В СРЕДНЕМ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 7 VIII 1956)

Рассмотрим пространство L_p ($1 \leq p \leq \infty$) всех измеримых функций $f(x_1, \dots, x_k)$, периода 2π по каждой из переменных x_i ($i = 1, 2, \dots, k$), p -я степень модуля которых интегрируема на k -мерном кубе периода с нормой

$$\|f\|_{L_p} = \left\{ \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} |f(x_1, \dots, x_k)|^p dx_1 \dots dx_k \right\}^{1/p}.$$

Пусть

$$E_{n_1, \dots, n_k}(f)_{L_p} = \inf_T \|f(x_1, \dots, x_k) - T_{n_1, \dots, n_k}(x_1, \dots, x_k)\|_{L_p}$$

полное наилучшее приближение функции f тригонометрическими многочленами порядка $\leq n_i$ по переменным x_i ($i = 1, 2, \dots, k$).

В силу теоремы Фубини, для любого $r < k$ функция $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ как функция от переменных x_1, \dots, x_r почти для всех совокупностей (x_{r+1}, \dots, x_k) также принадлежит классу L_p вместе со своим наилучшим приближением $E_{n_1, \dots, n_r}(f; x_{r+1}, \dots, x_k)$ по выбранным r переменным.

Величину

$$E_{n_1, \dots, n_r, \infty}(f) = \|E_{n_1, \dots, n_r}(f; x_{r+1}, \dots, x_k)\|_{L_p}$$

можно рассматривать как частное наилучшее приближение порядка соответственно по переменным x_i ($i = 1, 2, \dots, r$). Эта величина совпадает с нижней гранью

$$\inf \|f(x_1, \dots, x_k) - T_{n_1, \dots, n_r}[x_1, \dots, x_r; (x_{r+1}, \dots, x_k)]\|_{L_p}$$

по всевозможным тригонометрическим полиномам порядка n_i по переменным x_i ($i = 1, 2, \dots, r$), коэффициентами которых являются периодические функции $\varphi_{i, \dots, i_r}(x_{r+1}, \dots, x_k)$ периода 2π по каждой из переменных ($i = r+1, \dots, k$), принадлежащие к L_p . Благодаря этому всегда имеет место неравенство

$$E_{n_1, \dots, n_k}(f) \geq E_{n_1, \dots, n_r, \infty}(f).$$

Следующая теорема дополняет эту оценку и указывает на более тесную связь между полным и частными приближениями.

Теорема. Для любого конечного $p > 1$ существует константа C_p не зависящая от функции f и такая, что

$$E_{n_1, \dots, n_k}(f)_{L_p} \leq C_p \min \{E_{n_{v_1}, \dots, n_{v_i}, \infty}(f)_{L_p} + E_{n_{v_{i+1}}, \dots, n_{v_k}, \infty}(f)_{L_p}\} \\ (v_m = 1, 2, \dots, k; \quad m = 1, 2, \dots, i).$$

В случаях $p = 1$, $p = \infty$ справедливо неравенство

$$E_{n_1, \dots, n_k}(f) \leq C \min \{ (E_{n_{v_1}, \dots, n_{v_i}, \infty}(f) + E_{n_{v_{i+1}}, \dots, n_{v_k}, \infty}(f)) \ln n_{v_i} \cdot \ln n_{v_i} \} \quad (2)$$

$$\left(v_m = 1, 2, \dots, k; \quad m = 1, 2, \dots, i; \quad i \leq \left[\frac{k}{2} \right] \right),$$

где C — абсолютная константа.

Для непрерывных функций двух переменных в случае равномерной метрики ($p = \infty$) неравенство (2) было получено С. Н. Бернштейном ⁽¹⁾, указавшим также на вытекающий из равенства Парсеваля частный случай оценки (1) при $p = 2$ с константой $C_2 = 1$.

Доказательство неравенств (1) и (2) приведем лишь для случая функций двух переменных.

Доказательство неравенства (1). Пусть $T_{n_1}[x_1; (x_2)]$, $T_{n_2}[(x_1); x_2]$ — тригонометрические многочлены, осуществляющие частные наилучшие приближения функции $f(x_1, x_2)$, первый — порядка n_1 по x_1 , второй — порядка n_2 по x_2 , т. е.

$$E_{n_1, \infty}(f) = \| f(x_1, x_2) - T_{n_1}[x_1; (x_2)] \|, \quad E_{n_2, \infty}(f) = \| f(x_1, x_2) - T_{n_2}[(x_1); x_2] \|.$$

Обозначим:

$$S_{n_1}(f; x_1, x_2) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x_1 + t_1, x_2) D_{n_1}(t_1) dt_1,$$

$$S_{n_1, n_2}(f; x_1, x_2) = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x_1 + t_1, x_2 + t_2) D_{n_1}(t_1) D_{n_2}(t_2) dt_1 dt_2,$$

$$\text{где } D_n(t) = \frac{\sin(2n+1)\frac{t}{2}}{2 \sin \frac{t}{2}}.$$

Очевидно, что

$$S_{n_1, n_2}(T_{n_1}; x_1, x_2) = S_{n_2}(T_{n_1}; x_1, x_2) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T_{n_1}[x_1, (x_2 + t_2)] D_{n_2}(t_2) dt_2.$$

Из этого следует

$$E_{n_1, n_2}(f) \leq \| f(x_1, x_2) - S_{n_2}(T_{n_1}; x_1, x_2) \| \leq \| f(x_1, x_2) - S_{n_2}(f; x_1, x_2) \| + \| S_{n_2}(f; x_1, x_2) - S_{n_2}(T_{n_1}; x_1, x_2) \| = R_1 + R_2. \quad (3)$$

Для оценки каждого слагаемого в правой части (3) воспользуемся неравенством Рисса ⁽²⁾

$$\| S_m(f) \|_{L_p} \leq A_p \| f \|_{L_p} \quad (p > 1).$$

Тогда, очевидно:

$$R_2 \leq A_p \| f(x_1, x_2) - T_{n_1}[x_1; (x_2)] \| = A_p E_{n_1, \infty}(f); \quad (4)$$

$$R_1 \leq \| f(x_1, x_2) - T_{n_2}[(x_1); x_2] \| + \| T_{n_2}[(x_1); x_2] - S_{n_2}(f; x_1, x_2) \| =$$

$$= E_{n_2, \infty}(f) + \| S_{n_2}(f - T_{n_2}; x_1, x_2) \| \leq E_{n_2, \infty}(f) + A_p E_{n_2, \infty}(f). \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует (1).

Доказательство неравенства (2). Рассматривая неравенство (3) в метрике L , оценим R_1 и R_2 .

Изменив порядок интегрирования и в силу периодичности функции по каждой переменной, получим:

$$\begin{aligned} R_2 &\leq \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(x_1, x_2 + t_2) - T_{n_1}[x_1, (x_2 + t_2)]| \cdot |D_{n_2}(t_2)| dt_2 dx_1 dx_2 \leq \\ &\leq \|f(x_1, x_2) - T_{n_1}[x_1; (x_2)]\| \cdot \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |D_{n_2}(t_2)| dt_2 = \\ &= E_{n_1, \infty}(f) \cdot \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |D_{n_2}(t_2)| dt_2, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} R_1 &\leq \|f(x_1, x_2) - T_{n_2}[(x_1); x_2]\| + \|T_{n_2}[(x_1); x_2] - S_{n_2}(f; x_1, x_2)\| \leq \\ &\leq E_{n_2, \infty}(f) + \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(x_1, x_2 + t_2) - T_{n_2}[(x_1); x_2 + t_2]| \cdot |D_{n_2}(t_2)| dt_2 dx_1 dx_2 \leq \\ &\leq E_{n_2, \infty}(f) + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |D_{n_2}(t_2)| dt_2 \cdot E_{n_2, \infty}(f). \end{aligned} \quad (7)$$

Из (6) и (7) получаем

$$E_{n_1, n_2}(f) \leq C \{E_{n_1, \infty}(f) + E_{n_2, \infty}(f)\} \cdot \ln n_2. \quad (8)$$

Аналогично можно получить и неравенство

$$E_{n_1, n_2}(f) \leq C \cdot \{E_{n_1, \infty}(f) + E_{n_2, \infty}(f)\} \cdot \ln n_1. \quad (9)$$

(8) и (9) дают (2).

Тот же метод позволяет доказать неравенства (8) и (9) для случая равномерной метрики.

Днепропетровский
сельскохозяйственный институт

Поступило
3 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Н. Бернштейн, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, **38**, 24 (1951)
² А. Зигмунд, Тригонометрические ряды, М.—Л., 1939.

Д. И. МАНЖЕРОН

О ПРИВЕДЕННЫХ УСКОРЕНИЯХ ЛЮБОГО ПОРЯДКА И НЕКОТОРЫХ ИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ

(Представлено академиком И. И. Артоболевским 6 VIII 1956)

Пусть $w_M^{(n)}$ — ускорение n -го порядка точки M твердого тела, находящегося в плоско-параллельном движении, выраженное обобщенными формулами Сомова ⁽¹⁾, выписанными в матричных обозначениях:

$$\begin{Bmatrix} x_1^{(n+1)} \\ x_2^{(n+1)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_{10}^{(n+1)} \\ x_{20}^{(n+1)} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -A_n - B_n \\ B_n - A_n \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 - x_{10} \\ x_2 - x_{20} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где $A = A_n(t)$ и $B_n = B_n(t)$ определяются рекуррентными формулами

$$A_{n+1} = \dot{A}_n + \dot{\theta} B_n, \quad B_{n+1} = \dot{B}_n - \dot{\theta} A_n, \quad A_1 = \dot{\theta}^2, \quad B_1 = \ddot{\theta}, \quad (2)$$

$$\left(\dot{} \equiv \frac{d}{dt} \right), \quad x_i^{(n+1)} = \frac{d}{dt} x_i^{(n)} \quad (i = 1, 2; n = 1, 2, \dots)$$

и $\theta = \theta(t)$ — угол вращения тела.

Теорема 1. Геометрическое место точек M^* , определяемых векторным уравнением

$$r_{M^*} = r_M + \lambda_n w_M^{(n)}, \quad (3)$$

где M — точка, находящаяся на некоторой прямой (D_M) , участвующей в плоско-параллельном движении, есть прямая (D_{M^*}) , образующая с прямой (D_M) угол φ_n , определяемый соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{\lambda_n B_n}{1 - \lambda_n A_n}. \quad (4)$$

Очевидно, что угол φ_n зависит лишь от состояния движения рассматриваемого звена в данный момент времени и от выбранного значения параметра λ_n .

Теорема 2. Приведенные ускорения n -го порядка, введенные в ⁽²⁾ и определяемые соотношениями

$$w_r^{(n)} = \frac{w_r^{(n)}}{A_n}, \quad w_r^{(1)} = \frac{w_r^{(1)}}{A_1} \equiv \frac{w}{A_1} \quad (n = 1, 2, \dots), \quad (5)$$

где A_n (и B_n) выражаются рекуррентными формулами (2), характеризуются экстремальным свойством функции (4) угла φ_n .

Теорема 3 (о распределении ускорений любого порядка). Геометрическое место концов приведенных ускорений n -го порядка точек прямой (D) , находящейся в плоско-параллельном движении, есть прямая (D_r) , перпендикулярная к данной.

Теорема 4 (обобщенная теорема Котельникова ⁽³⁾). Окружности, имеющие диаметрами приведенные ускорения n -го порядка точек какого-либо твердого тела, находящегося в плоско-параллельном движении, про-

ходят через мгновенный центр ускорений того же порядка $P_n(x_{1P_n}, x_{2P_n})$ данный в матричных обозначениях следующим равенством:

$$\begin{pmatrix} x_{1P_n} \\ x_{2P_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{10} \\ x_{20} \end{pmatrix} + \frac{1}{A_n^2 + B_n^2} \begin{pmatrix} A_n & -B_n \\ B_n & A_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{10}^{(n+1)} \\ x_{20}^{(n+1)} \end{pmatrix} \quad (n = 1, 2, \dots). \quad (6)$$

Теорема 5 (обобщенная теорема подобия). Концы ускорений n -го порядка точек твердого тела, находящегося в плоско-параллельном движении, в том случае, когда начала этих ускорений помещены в одну точку, образуют фигуру, подобную этому твердому телу, повернутую на угол

$$\theta_n = \arctg \frac{B_n}{A_n}, \quad (7)$$

где A_n и B_n определяются соотношениями (2).

Установленные теоремы служат основой ряда теорем^(7,8) и приводят к новому методу, названному методом приведенных ускорений любого порядка, выработанному коллективом под руководством автора. Метод приведенных ускорений любого порядка позволяет исходя из известных классификаций И. И. Артоболевского⁽⁴⁾, Г. Г. Баранова⁽⁵⁾ и др. и изучения наиболее характерных групп Ассура провести весьма простое систематическое исследование графо-аналитическим способом классической задачи о распределении ускорений первого порядка для всех групп Ассура, относящихся к плоским механизмам.

Ясский политехнический институт
Яссы, Румынская Народная Республика

Поступило
11 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. И. Манжерон, ДАН, 102, № 4, 705 (1955). ² Д. И. Манжерон, ДАН, 102, № 5, 897 (1955). ³ А. П. Котельников, Матем. сборн., 34, 238 (1927). ⁴ И. И. Артоболевский, Теория машин и механизмов, М., 1953, стр. 112. ⁵ Г. Г. Баранов, Тр. семинара по теории машин и механизмов, 12, 46, 15 (1952). ⁶ Э. В. Шпольский, Атомная физика, 1, 1951. ⁷ D. Mangeron, G. Dragăgan, O. Munteanu, Bul. Inst. Polit. Iași, 2 (6), № 3—4 (1956). ⁸ D. Mangeron, C. Drăgan, Vl. Swizewski, Rev. de Mécanique appl., 1, № 4 (1956). ⁹ D. Mangeron, C. Drăgan, ZAMM (в печати).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. Г. КОРЕНЕВ

НЕКОТОРЫЕ ПЛОСКИЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 13 VII 1956)

В этой заметке разбираются задачи о тепловых волнах в пластинах, толщина h которых достаточно мала; температура считается по толщине постоянной; удельная теплоемкость c , плотность ρ и коэффициент теплопроводности λ постоянны; координатные оси x, y расположим в средней плоскости. Здесь рассматриваются два типа граничных условий по плоскостям $z = \pm h/2$, которые мы назовем соответственно верхней и нижней плоскостью: 1) обе плоскости являются адиабатическими границами; этот случай совпадает с плоской задачей о тепловых волнах в неограниченном цилиндре; 2) по обеим плоскостям происходит теплообмен со средой, описываемый граничными условиями третьего рода. Для обоих случаев задача о тепловых волнах имеет много общего с задачами об изгибе плит на упругом основании.

1. Плоская задача теории тепловых волн при условиях первого типа описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + F(x, y) \sin \omega t, \quad (1)$$

где $T(x, y, t)$ — температура, отсчитываемая от некоторой средней температуры T_0 ; $F(x, y)$ — закон распределения источников тепла, которые, для сокращения записи и не нарушая общности, будем считать находящимися только в фазе $\sin \omega t$ (ω — круговая частота, $a = \lambda/c\rho$); кроме того, положим, что в граничных условиях по контуру пластины (или соответственно по боковой поверхности цилиндра) правая часть представляет некоторую функцию дуги контура, умноженную на $\sin \omega t$.

Если в (1) положить $F(x, y) = 0$, то

$$T(x, y, t) = \varphi(x, y) \cos \omega t + \varphi_1(x, y) \sin \omega t, \quad (2)$$

где $\varphi(x, y)$ и $\varphi_1(x, y)$ удовлетворяют дифференциальному уравнению

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi + \left(\frac{\omega}{a}\right)^2 \varphi = 0 \quad (3)$$

и, кроме того,

$$\varphi_1 = \frac{a}{\omega} \nabla^2 \varphi. \quad (4)$$

Перейдем к безразмерным координатам; примем в дальнейшем полярную систему координат (ξ, θ) , где $\xi = r/l$, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $l = \sqrt{a/\omega}$.

Нам достаточно найти $\varphi(x, y)$, после этого (2) и (4) дают полное решение задачи; так как φ удовлетворяет уравнению (3), решение которого достаточно хорошо разобрано в теории изгиба плит на упругом основании, то, как уже отмечено, выкладки во многих случаях облегчаются.

Рассмотрим задачу о точечном источнике интенсивности $Q \sin \omega t$, приложенном к неограниченной пластине; точку приложения источника примем за начало координат; из сказанного ранее следует, что φ будет от

личаться только постоянным множителем от решения Герца для силы, приложенной к плавающей пластинке; легко показать, что

$$\varphi(\xi) = \frac{Q}{4\lambda h} f_0(\xi), \quad (5)$$

$$T(\xi, t) = \frac{Q}{4\lambda h} [f_0(\xi) \cos \omega t - g_0(\xi) \sin \omega t], \quad (6)$$

где $f_n(\xi) + i g_n(\xi) = H^{(1)}(\xi \sqrt{i})$; кроме того, обозначим $u_n(\xi) + i v_n(\xi) = I_n(\xi \sqrt{i})$.

Интегрируя (5), легко найдем $\varphi(\xi, \theta)$, а затем T для случаев, когда источники распределены по круговым областям. Так например, если источники $q \sin \omega t$ равномерно распределены по окружности радиуса $r_a = \alpha l$ то при $\xi \leq \alpha$

$$T = \frac{\pi q l \alpha}{2\lambda h} \{ [f_0(\alpha) u_0(\xi) - g_0(\alpha) v_0(\xi)] \cos \omega t - [f_0(\alpha) v_0(\xi) + g_0(\alpha) u_0(\xi)] \sin \omega t \}, \quad (7)$$

при $\xi \geq \alpha$

$$T = \frac{\pi q l \alpha}{2\lambda h} \{ [u_0(\alpha) f_0(\xi) - v_0(\alpha) g_0(\xi)] \cos \omega t - [v_0(\alpha) f_0(\xi) + u_0(\alpha) g_0(\xi)] \sin \omega t \}.$$

Функции $\varphi(\xi, \theta)$ для задачи об источниках $q \xi^n \cos n\theta$, распределенных по круговому кольцу или кругу, можно получить из решений, приведенных в (1), полагая, что q — интенсивность источников и введя дополнительный множитель $D / \lambda h l_1^2$, где D — цилиндрическая жесткость, l_1 — характеристика гибкости.

Применяя обычные приемы (изложенные, например, в (1)), найдем добавляя к полученным решениям интегралы однородного уравнения вида

$$T_h = [b_1 u_n(\xi) + b_2 v_n(\xi)] \cos \omega t + [b_1 v_n(\xi) - b_2 u_n(\xi)] \sin \omega t + [b_3 f_n(\xi) + b_4 g_n(\xi)] \cos \omega t + [b_3 g_n(\xi) - b_4 f_n(\xi)] \sin \omega t, \quad (8)$$

температуру в круглой пластинке или неограниченной пластине с отверстием.

Для того чтобы облегчить выкладки при отыскании коэффициентов b_1, b_2, b_3, b_4 , в некоторых случаях удобно пользоваться методом начальных параметров. Функции, обладающие свойством единичной матрицы обозначим $Y_1^*(\alpha, \xi), Y_2^*(\alpha, \xi), Y_3^*(\alpha, \xi), Y_4^*(\alpha, \xi)$. Эти функции можно получить с помощью формулы (2) из (1); так, например:

$$Y_1^*(\alpha, \xi) = -Y_3(\alpha_1, \xi) \cos \omega t + Y_1(\alpha, \xi) \sin \omega t, \quad (9)$$

где Y_1, Y_3 — соответствующие функции для круглой пластинки на упругом основании, которые приведены в (1). Отсюда

$$Y_1(\alpha, \xi) = \frac{\pi \alpha}{2} [g'_0(\alpha) u_0(\xi) + f'_0(\alpha) v_0(\xi) - v'_0(\alpha) f_0(\xi) - u'_0(\alpha) g_0(\xi)],$$

$$Y_3(\alpha, \xi) = \frac{\pi \alpha}{2} [-f'_0(\alpha) u_0(\xi) + g'_0(\alpha) v_0(\xi) + u'_0(\alpha) f_0(\xi) - v'_0(\alpha) g_0(\xi)].$$

Рассмотрим плоскую задачу о тепловых волнах для пластинки с адиабатическими основаниями или цилиндра, считая, что поперечное сечение ограничено простым контуром C , имеющим непрерывную кривизну.

Положим, что температура на контуре

$$T(\sigma) = F_1(\sigma) \sin \omega t + F_2(\sigma) \cos \omega t. \quad (10)$$

здесь и ниже σ есть s -дуговая координата точки контура. Обозначим $r = r/l$ — приведенное расстояние между точкой контура и точкой области. Будем искать решение в виде

$$T(x, y; t) = \int_C \mu_1(s) K_1^* ds + \int_C \mu_2(s) K_2^* ds, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} K_1^* &= [f_0'(\eta) \sin \omega t - g_0'(\eta) \cos \omega t] \cos(n_s, r_1), \\ K_2^* &= [g_0'(\eta) \sin \omega t + f_0'(\eta) \cos \omega t] \cos(n_s, r_1), \end{aligned} \quad (12)$$

μ_2 — некоторые пока неизвестные плотности особенностей.

Так как K_1^*, K_2^* удовлетворяют дифференциальному уравнению плоских тепловых волн, то представленное формулой (11) решение удовлетворяет дифференциальному уравнению теплопроводности. Нужно найти функции μ_1, μ_2 так, чтобы удовлетворить граничным условиям. Заметим, что при $\eta \rightarrow 0$ функция f_0' остается ограниченной, функция $g_0' \rightarrow 2/\pi\eta$. Поэтому, воспользовавшись известными результатами теории логарифмического потенциала, получим при стремлении точки области к точке контура следующие два интегральные уравнения:

$$\begin{aligned} 2\mu_1(\sigma) + \int_C \mu_1(s) K_{11}^*(\sigma, s) ds + \int_C \mu_2(s) K_{21}^*(\sigma, s) ds &= F_2(\sigma), \\ -2\mu_2(\sigma) + \int_C \mu_1(s) K_{12}^*(\sigma, s) ds + \int_C \mu_2(s) K_{22}^*(\sigma, s) ds &= F_1(\sigma), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K_{11}^* &= -K_{22}^* = g_0(\eta_{\sigma, s}) \cos(n_s, r_1), \\ K_{12}^* &= K_{21}^* = f_0(\eta_{\sigma, s}) \cos(n_s, r_1). \end{aligned} \quad (14)$$

Эта система интегральных уравнений Фредгольма второго рода, которая решается и исследуется обычным образом. Все выкладки сохраняются; теорема единственности здесь имеет место, так же как и в обычной задаче Дирихле.

Составим интегральные уравнения для граничных условий второго рода. Положим, что поток тепла, проходящий через границу пластинки, задается заданной функцией, а именно $q_\sigma = F_1(\sigma) \cos \omega t + F_2(\sigma) \sin \omega t$. Прежнему представим решение поставленной задачи в виде:

$$T = \int_C \mu_1(s) K_3^* ds + \int_C \mu_2(s) K_4^* ds. \quad (15)$$

Положим

$$\begin{aligned} K_3^* &= f_0(\eta) \sin \omega t - g_0(\eta) \cos \omega t, \\ K_4^* &= g_0(\eta) \sin \omega t + f_0(\eta) \cos \omega t. \end{aligned} \quad (16)$$

Так как $q(\sigma) = -\lambda h \frac{\partial T}{\partial n_\sigma}$, то

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial n_\sigma} &= -2\mu_1(\sigma) \cos \omega t + 2\mu_2(\sigma) \sin \omega t + \int_C \mu_1(s) K_5^*(s, \sigma) ds + \\ &+ \int_C \mu_2(s) K_6^*(s, \sigma) ds, \end{aligned} \quad (17)$$

где $K_5^* = dK_3^*/dn_\sigma$, $K_6^* = dK_4^*/dn_\sigma$ при $\eta = \eta_{\sigma, s}$. Отсюда получаем два интегральных уравнения.

Аналогичным образом можно получить уравнения Фредгольма для граничных условий третьего рода.

2. Рассмотрим тепловые волны в неограниченной пластинке при граничных условиях третьего рода на верхней и нижней поверхности. В этом случае уравнение теплопроводности при отсутствии источника имеет вид

$$\lambda h \nabla^2 T = 2\delta T + c\rho h \frac{\partial T}{\partial t},$$

где δ — коэффициент теплообмена. Решение будем искать по-прежнему в виде (2), причем, после перехода к безразмерным координатам, φ удовлетворяет уравнению

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi - 2b_0 \nabla^2 \varphi + \varphi = 0, \quad (1)$$

где

$$b_0 = \frac{2\delta\lambda h}{4\delta^2 + c^2\rho^2 h^2 \omega^2}, \quad \xi = \frac{r}{l_2}, \quad l_2 = \frac{\lambda h}{\sqrt{4\delta^2 + c^2\rho^2 h^2 \omega^2}}.$$

Здесь можно воспользоваться аналогией с задачей о плите на упругом основании, растянутой силами в срединной плоскости.

При действии точечного источника получим

$$\varphi(\xi, \theta) = \tilde{f}_0(\xi), \quad (1)$$

где

$$\tilde{f}_n(\xi) + i\tilde{g}_n(\xi) = H_n^{(1)}(\xi e^{i\psi}), \quad \psi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{-b_0}{\sqrt{1-b^2}}.$$

В рассматриваемом случае

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sin 2\psi} [\nabla^2 \varphi + \varphi \cos 2\psi]$$

и после простых преобразований получаем

$$T = \frac{Q}{4\lambda h} [\tilde{f}_0(\xi) \cos \omega t - \tilde{g}_0(\xi) \sin \omega t].$$

Интегрируя это выражение и проводя те же выкладки, которые были приведены выше, найдем соответствующие решения; при этом можно почти без переделок использовать многие формулы, приведенные в (1).

Поступило
19 IV 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. Г. Коренев, Вопросы расчета балок и плит на упругом основании, М., 1956.
² Б. Г. Коренев, ДАН, 107, № 2 (1956).

В. В. АЛПЕРС, И. И. ГУРЕВИЧ, В. М. КУТУКОВА, А. П. МИШАКОВА,
Б. А. НИКОЛЬСКИЙ и Л. В. СУРКОВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ ЛИВНЕЙ, ОБРАЗОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ

(Представлено академиком А. И. Алихановым 28 VIII 1956)

В статье приводятся предварительные результаты по изучению взрывных ливней, вызванных космическими частицами большой энергии, полученные при обработке 29 ливней методом эмульсионной камеры. Эмульсионная камера состояла из 100 слоев диаметром 10 см и толщиной 450 μ каждый. Для исследования использована эмульсия НИКФИ типа «Р». Камера была облучена в стратосфере на высоте 10 км в течение 7 час. в мае 1955 г.

Просмотр эмульсионных слоев проводился систематически по площади увеличения $10 \times 15 \times 1,5$ на микроскопах БИ-2. При просмотре фиксировались взрывные ливни с числом релятивистских следов $n_s \geq 5$, расположенных в достаточно узком конусе (по числу черных и серых следов диминация не проводилась), а также струи, содержащие число релятивистских следов $n_s \geq 3$.

В результате просмотра 1,5 см³ фотоэмульсии было найдено 27 взрывных ливней и 29 струй. При

дальнейшем прослеживании струй через эмульсионную камеру было найдено, что 2 из них берут свое начало из звезд, остальные 27 струй оказались электронно-фотонными ливнями.

Найденные таким образом 29 взрывных ливней обрабатывались на микроскопе с увеличением $90 \times 15 \times 1,5$. При обработке определялись первичная частица, вызвавшая ливень, число релятивистских частиц в ливне, измерялось угловое распределение ливневых частиц относительно оси ливня. Углы в плоскости эмульсии α и углу погружения β измерялись с точностью до 1°. Угловое распределение частиц ливня относительно оси ливня определялось с помощью специально сконструированного В. В. Алперсом прибора. Каждая ливневая частица наносилась на алюминиевую

Таблица 1

№ ливня	Первичная частица	Ω , град.	$n_h + n_g$	n_s	Φ , град.	P для $k=12$	P для $k=6$
1	—	—	9+14	22	20	0,7	0,54
2	—	0	12+12	50	20	0,97	0,99
3	—	—	1+1	31	35	0,53	0,95
4	—	3	10+10	26	10	0,12	0,52
5	—	—	13+13	39	25	0,65	0,8
6*	Z	12,5	14+8	52	15	0,001	0,00001
7*	—	9,5	10+7	25	10	0,09	0,62
8	—	—	12+7	16	20	0,4	0,8
9	Z	12	12+4	90	27	0,8	0,85
10	—	—	6+9	22	10	0,85	0,8
11*	Z	2	6+16	78	22	0,037	0,09
12	—	—	3+2	7	7,5	0,25	0,67
13*	—	0	5+3	23	20	0,1	0,09
14	—	9	3+0	8	5	0,8	0,98
15	—	12	5+2	10	2,5	0,4	0,42
16	—	—	11+8	12	7,5	0,45	0,12
17	—	—	9+13	13	10	0,3	0,54
18*	—	1,5	2+4	24	4	0,0028	0,09
19	—	—	4+7	10	15	0,86	0,95
20	—	—	10+10	17	9	0,25	0,54
21	—	—	13+12	22	15	0,02	0,54
22	—	—	6+2	15	15	0,53	0,08
23	—	—	13+8	20	25	0,61	0,67
24*	Z	11,5	1+7	93	13	0,05	0,06
25	—	—	6+2	7	5	0,85	0,91
26	—	0	8+8	26	15	0,12	0,67
27	Z	0	8+9	18	20	0,4	0,9
28	—	—	7+12	13	32	0,44	0,54
29	—	—	11+13	13	1	—	—

сферу, причем углы α и β отсчитывались с помощью двух специальных лимбов. Пространственные углы ливневых частиц, нанесенных на сферу, определялись с помощью приставной полусферы, сделанной из пластика, с нанесенными на ней широтными (ϑ) и долготными (φ) углами. С помощью сферы для каждого ливня определялся угол $\vartheta_{1/2}$, в котором заключена половина ливневых частиц, а также распределения по углам ϑ . Кроме того, определялся угол Ω между осью симметрии ливня и направлением частицы, вызвавшей ливень, для тех случаев, в которых после

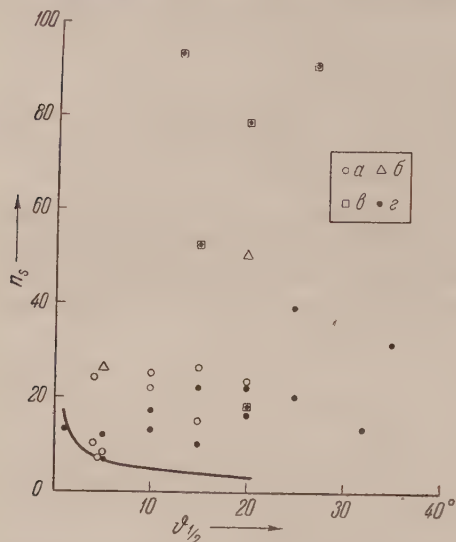


Рис. 1. Зависимость n_s от $\vartheta_{1/2}$ для наблюдаемых ливней: а — ливни, вызванные нейтроном или протоном; б — ливни, вызванные α -частицей; в — ливни, вызванные тяжелыми частицами; г — ливни, для которых природа первичной частицы не определена (нуклон или α -частица). Сплошная кривая — зависимость между n_s и $\vartheta_{1/2}$ согласно теории Ферми (4)

центра инерции двух сталкивающихся частиц углу $\theta_{ц.и} = \pi/2$.

Получающиеся при этом формулы перехода в систему центра инерции для случая предельно релятивистских ливневых частиц будут тогда иметь вид:

$$\operatorname{ctg} \vartheta = \gamma_c \frac{\cos \theta + 1}{\sin \theta},$$

$$\gamma_c = \operatorname{ctg} \vartheta_{1/2},$$

где ϑ — угол ливневой частицы в лабораторной системе координат, θ — угол в системе центра инерции; $\gamma_c = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, β — скорость движения центра инерции.

С другой стороны, число ливневых частиц согласно термодинамической теории Ферми связано с энергией сталкивающихся нуклонов в системе центра инерции по формуле

$$n_s = k \left(\frac{E}{2mc^2} \right)^{1/4} = k \gamma_c^{1/2},$$

где E — энергия в лабораторной системе, $k = 1 \div 2$.

достоверно могла быть определена. Сводка экспериментальных результатов представлена в табл. 1, n_s — число релятивистских следов в ливне, n_h и n_g — соответственно число черных и серых следов в звезде.

На рис. 1 представлен график зависимости n_s от $\vartheta_{1/2}$. Каждый ливень изображается точкой. На рисунке особо выделены точки в случаях, когда достоверно известна природа частицы, вызвавшей ливень. На рис. 1 ливни, вызванные тяжелыми частицами, образуют особую область и характерны значительно большим числом ливневых частиц.

Если предположить, что наблюдаемые ливни образуются в результате нуклон-нуклонных соударений, то следует ожидать, что в системе центра инерции двух сталкивающихся частиц угловые распределения ливневых частиц будут симметричны относительно угла $\theta_{ц.и} = \pi/2$. При таком предположении экспериментально измеренный угол $\vartheta_{1/2}$ отвечает в системе

Таким образом, в предположении нуклон-нуклонного механизма образования ливня можно написать следующую зависимость между n_s и $\vartheta_{1/2}$:

$$n_s = k \sqrt{\operatorname{ctg} \vartheta_{1/2}}. \quad (4)$$

На рис. 1 приведена зависимость n_s от $\vartheta_{1/2}$ в предположении, что $\vartheta_{1/2} = 2$.

Из рис. 1 видно, что некоторые ливни удовлетворяют соотношению (4) и могут быть отнесены, таким образом, к случаям нуклон-нуклонных взаимодействий. Однако, как будет видно из дальнейшего, угловые распределения ливневых частиц противоречат такому заключению.

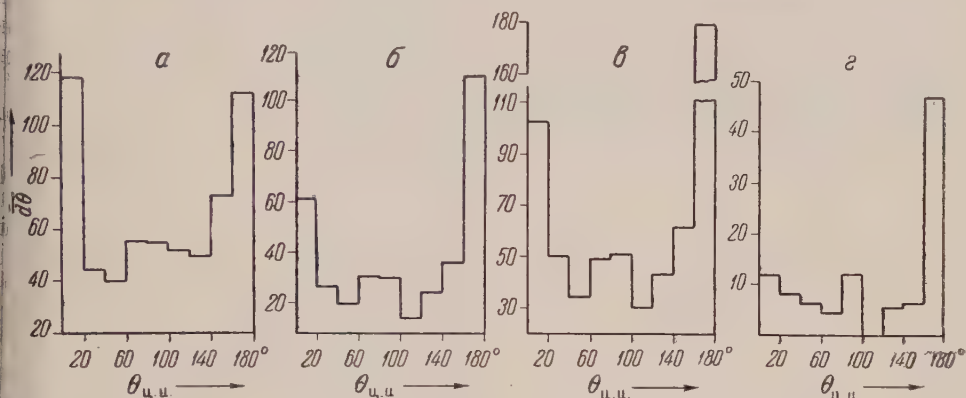


рис. 2. Угловые распределения ливневых частиц: а — ливни, вызванные тяжелыми частицами; б — вызванные нуклонами; в — вызванные нуклонами и α -частицами; г — ливни, которые согласно соотношению (4) могут быть отнесены к нуклон-нуклонным взаимодействиям (см. рис. 1)

С помощью формул (1) и (2) были найдены для каждого ливня значения n_s и соответствующие угловые распределения в системе центра инерции (θ). На рис. 2 изображены полученные таким образом суммарные угловые распределения. Из рисунка видно, что все ливни, вызванные нуклонами и α -частицами, характерны заметной асимметрией относительно угла $\theta = \pi/2$, что противоречит модели возникновения ливней в нуклон-нуклонных столкновениях. Следует при этом отметить, что угловое распределение $f(\theta)$ для ливней, вызванных тяжелыми частицами, оказалось симметричным относительно $\theta = \pi/2$, хотя это заключение не является достаточно определенным ввиду небольшого числа наблюдаемых случаев.

При изучении распределения ливневых частиц по азимутальному углу для нескольких ливней была обнаружена заметная асимметрия углового распределения $f(\varphi)$.

Приведенные в табл. 1 значения P представляют собой пирсоновские вероятности наблюдения данной величины асимметрии в распределении $f(\varphi)$ для каждого ливня в предположении, что найденные случаи асимметрии являются следствием статистических флуктуаций. Величины пирсоновских вероятностей P (χ^2) были определены по таблицам для значений χ^2 , которые не вычислялись по формуле

$$\chi^2 = \frac{k}{N} \left(\sum_{i=1}^k n_i^2 \right) - N,$$

где N — полное число ливневых частиц в ливне; k — число интервалов разбиения по углу φ ; n_i — число ливневых частиц в i -м интервале $\Delta\varphi$.

Следует отметить, что в ряде случаев величины P для $k = 6$ и $k = 12$ существенно отличаются друг от друга (см. ливни 6, 7, 18, 21, 22). Это яв-

ляется следствием сравнительно небольшого числа частиц в наблюдаемых ливнях и свидетельствует о недостаточной точности определения величины P . В 6 случаях наблюдаемая асимметрия отвечает значению $P \leq 0,1$ для случаев $k = 6$ и $k = 12$ (такие ливни отмечены в табл. 1 звездочкой). Разумеется, для окончательного выяснения вопроса о существовании ливней с азимутальной асимметрией релятивистских частиц требуется существенное увеличение числа наблюдаемых случаев, и данные табл. 1 должны рассматриваться лишь как предварительные результаты.

Следует отметить, что большая асимметрия наблюдается как у ливней, вызванных тяжелыми частицами, так и у ливней, вызванных нуклонами. Из табл. 1 видно также, что в ряде случаев наблюдаются значительные углы между направлением движения частицы, вызвавшей ливень, и осью симметрии ливня (угол Ω).

В заключение авторы выражают благодарность Д. М. Самойловой и Е. С. Бариновой за проявление эмульсионной камеры, а также Л. А. Смирновой за помощь в работе на микроскопе.

Поступило
10 VII 1956

Б. Б. ГОВОРКОВ, В. И. ГОЛЬДАНСКИЙ, О. А. КАРПУХИН,
А. В. КУЦЕНКО и В. В. ПАВЛОВСКАЯ

ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЙ ФОТООБРАЗОВАНИЯ π^0 -МЕЗОНОВ ОТ МАССОВЫХ ЧИСЕЛ ЯДЕР

(Представлено академиком И. Е. Таммом 15 VIII 1956)

Зависимость сечений образования π^0 -мезонов (σ_{π^0}) под действием γ -квантов тормозного излучения от массовых чисел ядер A исследовалась в работах (1-5), причем максимальная энергия спектра тормозного излучения варьировалась от 170 до 340 Мэв, а π^0 -мезоны регистрировались либо по одному (2, 4, 5), либо по обоим (1, 3) γ -квантам, излучаемым при их распаде. Каждый из таких методов регистрации π^0 -мезонов имеет свои преимущества и свои недостатки. Регистрация одного γ -кванта позволяет повысить статистическую точность, однако при этом могут регистрироваться также и упруго или неупруго рассеянные ядрами γ -кванты. Регистрация двух γ -квантов позволяет выделить эффект образования π^0 -мезонов на фоне других процессов, однако при заданном расположении вих счетчиков наблюдаются π^0 -мезоны лишь вполне определенной энергии, а это приводит к уменьшению эффективности регистрации π^0 -мезонов из сложных ядер (для которых при неупругом фотообразовании нет однозначной связи между углом вылета и энергией) по сравнению с π^0 -мезонами из водорода.

К недостаткам выполненных до сих пор исследований зависимости $\sigma_{\pi^0} = f(A)$ следует также отнести то обстоятельство, что соотношение сечений для сложных ядер и водорода ли вовсе не изучалось (3, 4), или определялось из разностных измерений

парафиновыми и графитовыми мишенями (1, 2, 5) с довольно малой точностью. Сводка данных, полученных в (1-5), представлена на рис. 1.

Чтобы уточнить зависимость сечений фотообразования π^0 -мезонов в широком интервале массовых чисел ядер, мы произвели ряд экспериментов и, в частности, особенно тщательное исследование этой зависимости в области малых A . Для этой цели мы сравнивали выход π^0 -мезонов из жидкого водорода, жидкого азота и жидкого кислорода, заливавшихся в цилиндрическую мишень из пенополистирола ПС-4 (внутренний диаметр мишени 08 мм, наружный диаметр 208 мм, толщина стенок 40 мг/см²). Фон от пустой мишени составлял до 1,6% для кислорода и до 8-33% для водорода, так что легко можно было получить результаты с большой степенью точ-

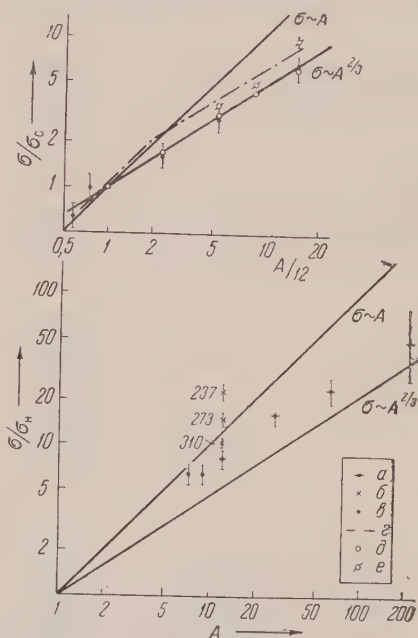


Рис. 1. Зависимость сечений фотообразования π^0 -мезонов от массового числа ядра по литературным данным: а — (1), 260 Мэв; б — (2), 237-310 Мэв; в — (3), (265 ± 15) Мэв; г — (4), 170-340 Мэв; д — (5), 260 Мэв; е — (5), 200 Мэв

ности. Для перехода в единой серии опытов к более тяжелым ядрам м использовали две графитовых мишени. Одна из них — цилиндрическ с диаметром 106 мм — вкладывалась внутрь пенополистироловой мишен что позволяло непосредственно сопоставить сечение фотообразования т

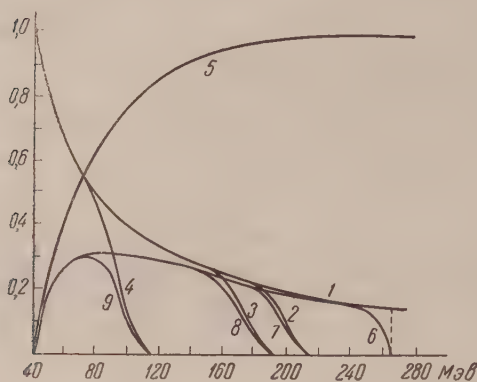


Рис. 2. Различные данные о спектре тормозного излучения и эффективности регистрации γ -квантов в наших опытах

счетчиков и схем совпадений использовался такой режим работы ускорителя, когда вместо мгновенного выключения ускоряющего напряжения в резонаторе производится постепенное снижение его амплитуды.

мезонов на углероде с водородом, азотом и кислородом. Другая графитовая мишень — плоская, толщиной 3,3 г/см² — помещалась под углом 45° к пучку тормозного излучения в тех же геометрических условиях, что мишени из алюминия (1,79 г/см²), железа (1,30 г/см²), меди (1,27 г/см²), кадмия (0,928 г/см²) и свинца (0,541 г/см²). Таким образом можно было отнести сечение фотообразования π^0 -мезонов к перечисленным сложным ядрам к водороду.

Опыты проводились на синхротроне 265 Мэв Физического института АН СССР. Для уменьшения перегрузки отдельных

Таблица 1
Относительные величины сечений фотообразования π^0 -мезонов

Ядро	$E_{\text{макс}} = 256 \text{ Мэв}$		$E_{\text{макс}} = 200 \text{ Мэв}$		$E_{\text{макс}} = 180 \text{ Мэв}$
	90°	135°	135°	90°	90°
	без поправок на другие экранирующие процессы				с поправкой
H ¹	1	1	1	1	1
C ¹²	12,7 ± 0,1	12,0 ± 0,4	22,1 ± 1,4	23,2 ± 2,2	23,9 ± 2,6
N ¹⁴	15,1 ± 0,1	15,5 ± 0,5	23,2 ± 1,5	30,3 ± 2,9	31,4 ± 3,4
O ¹⁶	17,1 ± 0,2	16,5 ± 0,5	29,5 ± 1,9		
Al ²⁷	22,1 ± 0,2	26,0 ± 0,9	40,5 ± 2,9	55,5 ± 5,3	53,8 ± 6,2
Fe ⁵⁶	38,3 ± 0,4	39,8 ± 1,4	60,4 ± 5,2	82,5 ± 8,2	71,1 ± 8,7
Cu ⁶⁴	44,7 ± 0,5	41,0 ± 0,5	82,0 ± 6,8	88,0 ± 8,9	73,6 ± 9,2
Cd ¹¹²	62,3 ± 0,5	67,6 ± 2,6	109 ± 13	135 ± 15	101 ± 16,0
Pb ²⁰⁷	105,2 ± 1,2	91 ± 4,5	176 ± 31	234 ± 26	152 ± 28

Зная форму растянутых импульсов синхротрона, т. е. спектр электронов в момент их попадания на мишень, и, принимая для неискаженного спектра тормозного излучения вид $f(E) = \frac{a}{E}$, мы легко могли оценить вид спектров γ -лучей в наших опытах, изображенный на рис. 2. Кривая 1 на этом рисунке характеризует вид спектра в основных опытах ($E_{\text{макс}} = 256 \text{ Мэв}$), кривые 2 ($E_{\text{макс}} = 200 \text{ Мэв}$), 3 ($E_{\text{макс}} = 180 \text{ Мэв}$) и 4 ($E_{\text{макс}} = 97 \text{ Мэв}$) — вид спектров при дополнительных измерениях, о которых будет сказано ниже. Выход π^0 -мезонов регистрировался по наблюдению одного из γ -квантов от их распада с помощью телескопа из четырех жидкостных сцинтилляционных счетчиков, наполненных раствором терфенила в толуоле (3 г/л). Одновременно использовались два телескопа, расположенных под одинаковыми или разными (90 и 135°) углами.

Вслед за первым счетчиком каждого из телескопов, включавшимся антисовпадения, располагался свинцовый конвертор (6,2—7 г/см²), между

етым и четвертым счетчиками — алюминиевый фильтр толщиной 5,4—
г/см². Порог регистрации γ -квантов, определявшийся толщиной второго
третьего счетчиков и фильтра, составлял для обоих телескопов
40 Мэв.

Зависимость эффективности регистрации обоими телескопами γ -квантов
их энергии E изображается, согласно данному в работе ⁽²⁾ (где приме-
лись телескопы такого же типа) соотношению $\varepsilon \sim 1 - e^{-\frac{E-40}{40}}$ кривой 5
на рис. 2.

Результаты опытов и статистические ошибки приводятся в табл. 1. При
лучении табличных данных вводились небольшие (9—15%) поправки

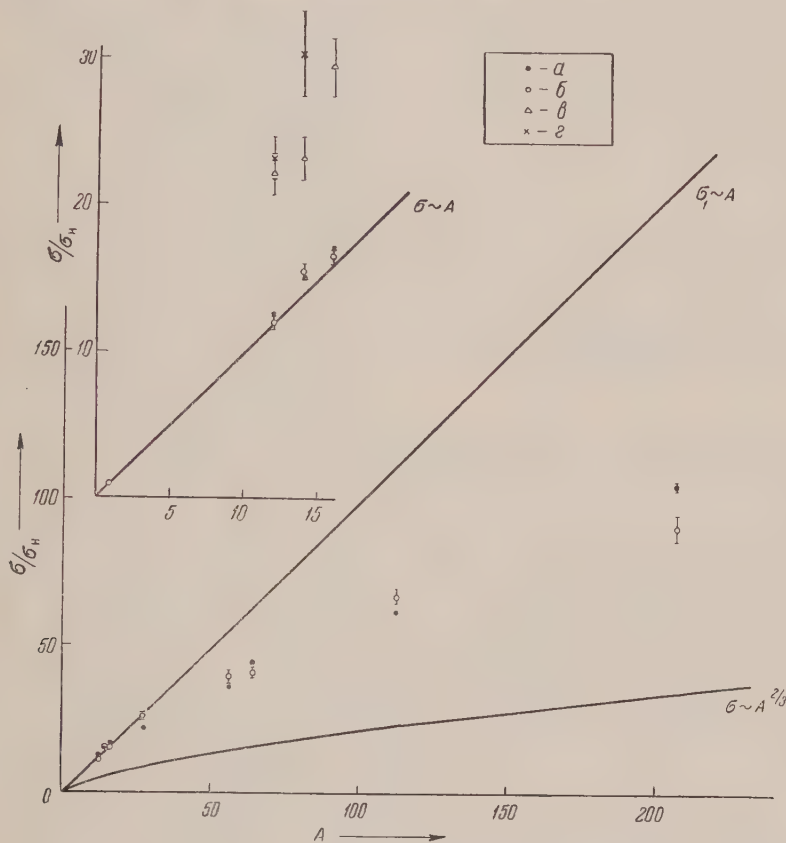


Рис. 3. Зависимость сечений фотообразования π^0 -мезонов от мас-
сового числа ядер (наши данные): a — 90° , 256 Мэв; b — 135° ,
256 Мэв; v — 135° , 200 Мэв; z — 90° , 180 Мэв

для учета различия в поглощении γ -квантов в жидких водороде, азоте,
ислороде и круглой графитовой мишени.

Главным источником систематических ошибок могла явиться реги-
страция γ -квантов от упругого рассеяния, сечение которого примерно
 $\sim (Z^2/A)^2$, и других экранирующих эффект процессов.

Для учета этих ошибок были проведены дополнительные опыты при
 $E_{\text{макс}} = 97$ Мэв, причем при экстраполяции данных этих опытов к более высо-
ким энергиям мы принимали, что сечение различных экранирующих эффект
роцессов при 40—260 Мэв остается постоянным, а их выход на эффектив-
ный квант растет пропорционально площади под кривыми b — g на рис. 2,
представляющими собой произведение спектра тормозного излучения на
эффективность регистрации γ -квантов. Величина поправок, вносимых на
экранирующие эффект процессы для $E_{\text{макс}} = 256$ Мэв, не превышает 9%;

для $E_{\text{макс}} = 180$ Мэв поправки указаны в таблице. Независимо от каких бы то ни было экранирующих эффект процессов, из результатов наших опытов следует, что для легких ядер, по крайней мере вплоть до кислорода, сечение фотообразования π^0 -мезонов растет примерно как $\sigma_{\pi^0} \sim A$ (и даже несколько сильнее), и лишь в дальнейшем устанавливается зависимость близкая $\sigma_{\pi^0} \sim A^{2/3}$ (см. рис. 3).

Такая зависимость $\sigma_{\pi^0} = f(A)$ качественно может быть объяснена тем, что мезоны рождаются во всем объеме ядра, но затем испытывают ре-

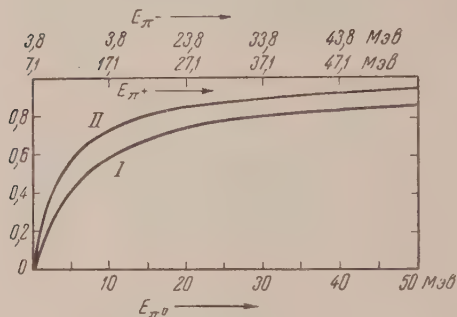


Рис. 4. Отношение сечений перезарядки нейтральных и заряженных π -мезонов:

1— $\sigma_{\pi^0\pi}/\sigma_{\pi^-p}$; 2— $\sigma_{\pi^0\pi}/\sigma_{\pi^+p}$

2. Вероятность рассеяния мезонов нуклонами ядра не только не меньше, но даже больше вероятности перезарядки (и, по-видимому, вероятности реабсорбции мезонов при взаимодействии с парами или группами нуклонов).

3. Из-за эндотермичности перезарядки π^0 -мезонов сечения реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + p$ и, особенно, $\pi^+ + p \rightarrow \pi^0 + p$ при малых энергиях мезонов заметно превышает сечения обратных процессов (рис. 4).

Наличие сильного рассеяния (п. 2) говорит о возможности анализировать вопрос о реабсорбции мезонов (по крайней мере для тяжелых ядер) с помощью скорее не формул оптической модели, а системы из двух диффузионных уравнений — для π^0 - и π^\pm -мезонов. При этом благодаря обстоятельствам, отмеченным пп. 1 и 3, процессы перезарядки должны приводить к увеличению выхода π^0 -мезонов за счет π^\pm -мезонов, так что при отсутствии поглощения мезонов для π^0 -мезонов наблюдался бы рост σ_{π^0} с более сильным, чем $\sigma_{\pi^0} \sim A$, тогда как для π^\pm -мезонов — более слабым, чем $\sigma_{\pi^\pm} \sim A$.

Авторы выражают благодарность чл.-корр. АН СССР В. И. Векслеру за интерес к работе и участие в обсуждении результатов, чл.-корр. АН СССР А. И. Шальникову, Н. И. Гинзбург, Н. Н. Хорошилову и другим сотрудникам кафедры низких температур физического факультета МГУ за помощь в постановке работ с жидким водородом. Мы благодарны также коллективу эксплуатации синхротрона ФИАН и болгарскому коллеге Милко Борисову, участвовавшему в измерениях.

Поступило
14 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. K. H. Panofsky, J. N. Steinberger, J. Steller, Phys. Rev. **76**, 180 (1952). ² G. Cocconi, A. Silverman, Phys. Rev., **88**, 1230 (1952).
- ³ R. Meunier, P. Barringer, L. S. Osborne, Bull. Am. Phys. Soc., Ser. **1**, № 4 EA6, EA7 (1956). ⁴ J. D. Anderson, R. W. Kenney, C. A. McDonald, Phys. Rev., **100**, 1798, I, 4 (1955); Bull. Am. Phys. Soc., Ser. **II**, **1**, № 5, E8 (1956).
- ⁵ А. С. Белоусов, Е. И. Тамм, Е. В. Шитов, Тез. докл. на Всесоюз. конф. по физике частиц высоких энергий, Изд. АН СССР, 1956, стр. 93. ⁶ K. A. Brueckner, R. Serber, K. Watson, Phys. Rev., **84**, 258 (1951).

П. С. КИРЕЕВ

ТОНКАЯ СТРУКТУРА И ЛЭМБОВСКИЙ СДВИГ УРОВНЯ 2s_{1/2} ЛИНИИ Т_α ТРИТИЯ λ 6560 Å

(Представлено академиком А. А. Лебедевым 25 IV 1956)

Исследование тонкой структуры линий третьего изотопа водорода — трития представляет значительный научный интерес. Теория тонкой структуры и лэмбовского сдвига уровней ns_{1/2} могут быть проверены на линиях трития с большей точностью, чем на линиях водорода или дейтерия, поскольку доплеровская ширина линий трития соответственно в 1,73 и 1,22 раза меньше, чем ширина линий, излучаемых водородом и дейтерием в одинаковых условиях. Большой интерес представляют исследования интенсивностей компонент тонкой структуры линий трития и исследование изотопического сдвига, обусловленного различием масс ядер изотопов H, D и T. Сведения о спектроскопических исследованиях линий трития в литературе практически отсутствуют.

В данной работе проводились исследования тонкой структуры первой линии серии Бальмера в тритии Т_α — λ 6560 Å, интенсивностей компонент тонкой структуры указанной линии и изотопического сдвига в линиях H_α — Т_α.

В табл. 1 дана структура линий Т_α, полученная на основе теории электрона Дирака. Расстояния компонент от наиболее интенсивной компоненты *a* приведены согласно теории Дирака и с учетом лэмбовского сдвига термов 2s_{1/2} и 3s_{1/2}. Интенсивности компонент даны в некоторых условных единицах, получаемых на основе теории излучения Дирака. Табл. 1 содержит сведения о тонкой структуре α-линии серии Бальмера любого изотопа водорода. Для сдвига термов 2s_{1/2} и 3s_{1/2} приняты величины 0,035 и 0,010 см⁻¹ (1) (рис. 1).

В качестве источника света в данной работе применялась разрядная трубка U-образного типа с капилляром диаметром около 3 мм и длиной ~120 мм. Трубка тщательно откачивалась с прогревом стенок и электродов, после чего наполнялась чистым тритием до давления 2—3 мм рт. ст. Свечение трития возбуждалось током в несколько миллиампер (2,5—10 ма) от высоковольтного трансформатора, к которому последовательно с трубкой присоединялось сопротивление ~ 200 000 ом.

Для разрешения тонкой структуры линии Т_α применялся эталон Фабри — Перо с промежутками различной толщины, располагавшийся перед щелью спектрографа ИСП-51 с камерой *f* = 270 мм. Интерференционная кар-

Таблица 1

Обозначение	Переход	Δν по Дираку в 1·10 ⁻³ см ⁻¹	Δν (лэмб) сдвиг в 1·10 ⁻³ см ⁻¹	I _{теор}
<i>a</i>	3d _{3/2} — 2p _{3/2}	0,0000	0,0000	9,00
<i>g</i>	3d _{3/2} — 2p _{1/2}	328,6	328,6	5,00
<i>f</i>	3p _{3/2} — 2s _{1/2}	328,6	293,6	2,08
<i>e</i>	3p _{1/2} — 2s _{1/2}	220,8	185,8	1,04
<i>d</i>	3s _{1/2} — 2p _{1/2}	220,8	230,8	0,10
	3d _{3/2} — 2p _{3/2}	—36,0	—36,0	1,00
<i>c</i>	3s _{1/2} — 2p _{3/2}	—144,2	—134,2	0,195

тина проектировалась на щель спектрографа объективом с $f=300$ мм. Коэффициент отражения зеркал эталона в исследуемой области равнялся 0,92. Источник, расположенный вертикально, погружался в жидкий азот для уменьшения доплеровской ширины линий. С помощью поворотной призмы свет от источника направляется на эталон. Вторичные изображения, даваемые эталоном, убираются добавочной щелью, расположенной после поворотной призмы и проектируемой на щель спектрографа с помощью дополнительных объективов. Спектр фотографировался на высокочувствительную панхроматическую пленку с экспозицией от 2—3 до 30—40 мин. Спектрограммы промерялись на компараторе ИЗА-2, результаты измерения обрабатывались методом прямоугольных таблиц.

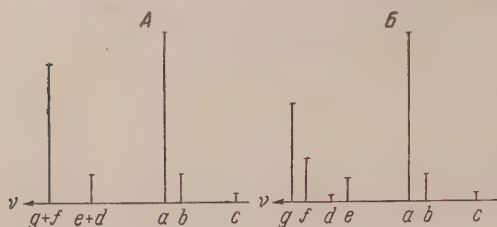


Рис. 1. Структура линии T_α по теории Дирака (А) и с учетом лэмбовского сдвига уровней $ns^2_{1/2}$ (Б)

Контрольные снимки, снятые с эталонами различных толщин, показали, что линия T_α состоит из трех хорошо разрешенных компонент. Большинство снимков сделано при толщине эталона 7,0 мм с областью дисперсии $0,7148 \text{ см}^{-1}$. После некоторого времени работы трубки в спектре были обнаружены следы водорода, что контролировалось фотографированием излучения водорода в полном катode. После этого линия T_α фотографиро-

валась с эталоном толщиной 4,0 и 5,0 мм; в этом случае линия H_α располагается между порядками линии T_α . Незначительное количество водорода способствовало более точному измерению расстояний между компонентами линий H_α и T_α (рис. 2 и 3).

Средние значения расстояний между комплексами (комплексом мы называем группу неразрешенных компонент) $a-e$, $e-g$ и $a-g$ равны, соответственно 192,3; 129,0 и 321,3 (в $1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$). Полученные результаты не совпадают с результатами теории тонкой структуры по Дираку, что объясняется сдвигом уровней $2s_{1/2}$ и $3s_{1/2}$ относительно $2p_{1/2}$ и $3p_{1/2}$. Для оценки величины сдвига можно использовать расчет по положению центра тяжести в предположении, что центр тяжести комплекса совпадает с максимумом почернения, причем положение максимума почернения определяется только теми компонентами, которые входят в данный комплекс. Влиянием соседних комплексов мы в первом приближении пренебрегаем. Обозначив величину смещения уровня $2s_{1/2}$ через x и предположив, что смещение терма $3s_{1/2}$ находится в соответствии с законом n^{-3} , мы можем найти величину смещения x , сравнивая полученные экспериментально расстояния между комплексами с теоретическими величинами. В таком случае для величины x получаем (в $1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$): $x = 35,4$, $x = 34,9$, $x = 36,4$, найденные, соответственно, по расстояниям $a-e$, $a-g$, $g-e$ с учетом теоретических значений интенсивностей компонент. Среднее значение величины смещения уровня $2s_{1/2}$ равно $35,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, что находится в хорошем соответствии с теорией сдвига уровней $ns_{1/2}$ в водороде и дейтерии ⁽¹⁾. Однако для более точного расчета смещения уровней необходимо учитывать влияние соседних комплексов. Влияние комплекса g на комплекс e можно учесть в предположении, что контур линий является чисто доплеровским. Учитывая экспериментально определенные полуширины и интенсивности линий, отличающиеся от теоретических величин (см. ниже), можно оценить смещение уровня $2s_{1/2}$ величиной $0,037 \text{ см}^{-1}$. Учет влияния соседних компонент на положение максимума в случае доплеровского контура очень сильно зависит от полуширины линии, поэтому величина смещения в этом случае определяется с точностью $0,002-0,003 \text{ см}^{-1}$. Таким образом

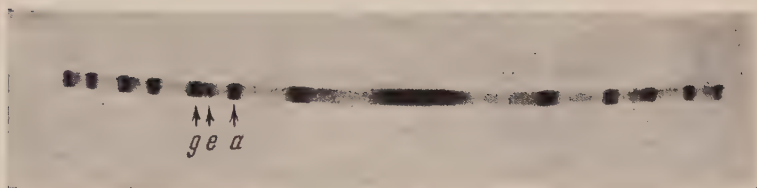


Рис. 2. Структура линии T_α . Эталон $t = 7,0$ мм

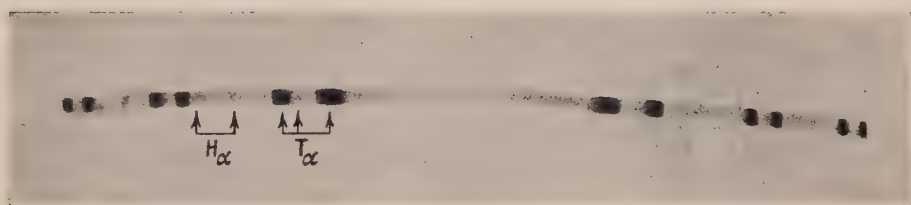


Рис. 3. Изотопический сдвиг $T_\alpha - H_\alpha$. Эталон $t = 4,0$ мм

ы можем утверждать, что смещение терма $2s_{1/2}$ лежит в пределах $0,033 < \delta E_{2s} < 0,039 \text{ см}^{-1}$. Для получения более точного значения необходимо уменьшить ширину линии, применив водородное охлаждение.

Изотопическое смещение $H_\alpha - T_\alpha$ исследовалось в работе Терранова и Гомеранц ⁽²⁾ на спектрографе с дифракционной решеткой с дисперсией $1,14 \text{ мм}/\text{\AA}$. Ими получена для расстояния $H_\alpha - T_\alpha$ величина $2,36 \pm 0,05 \text{ \AA}$, или $(5,475 \pm 0,116) \text{ см}^{-1}$. Применение эталона позволяет значительно снизить ошибку измерения и получить более точный результат.

Измерение расстояний между соответствующими компонентами проводилось в нашей работе по спектрограммам, снятым с эталоном толщиной $0,43$ и $5,0 \text{ мм}$. Для величины изотопического смещения между соответствующими компонентами линий H_α и T_α получено (в воздухе) $\delta\nu = (5,5321 \pm 0,0025) \text{ см}^{-1}$. Учитывая коэффициент преломления воздуха и вводя поправку для величины изотопического смещения в вакууме, получаем $\delta\nu = (5,5305 \pm 0,0025) \text{ см}^{-1}$, что на $0,006 \text{ см}^{-1}$ больше теоретической величины ⁽³⁾, учитывая простой эффект массы. Расхождение лежит за пределами ошибки. Причина расхождения не выяснена.

Измерение интенсивности компонент тонкой структуры линии T_α проводилось по отношению площадей контуров в пределах одного порядка. С этой целью микрофотограмма, полученная по спектрограмме, с помощью характеристической кривой пленки $S(\lg I)$ переводится в кривую интенсивности. Однако кривая интенсивности линии, получаемая с эталоном, не может быть использована для определения интенсивности комплексов, поскольку дисперсия эталона нелинейна, и кривая интенсивности не может быть разложена на контуры комплексов. Поэтому кривая интенсивности, полученная по спектрограмме, переводится в кривую с линейной дисперсией. На рис. 4 приведена кривая интенсивности линии T_α , причем ε — величина порядка интерференции, отсчитываемого от некоторого максимума. Для определения относительной интенсивности комплексов из суммарной кривой интенсивности выделяются контуры комплексов (на рис. 4 контуры комплексов даны тонкими линиями). Отношение площадей контуров комплексов в пределах одного порядка ($\Delta\varepsilon = 1$) дает относительную интенсивность комплексов, при этом площадь комплекса пропорциональна сумме интенсивностей компонент, входящих в комплекс.

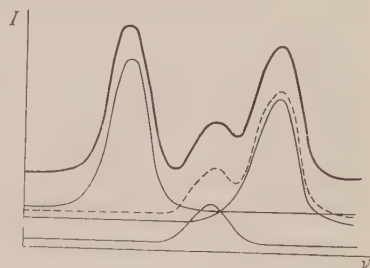


Рис. 4. Кривая интенсивности линии T_α и разложение ее на контуры комплексов. Эталон $t = 7,0 \text{ мм}$

Таблица 2

Комплекс	Состав комплекса	$I_{\text{эксп}}$	$I_{\text{теор}}$
a	a, b, c	1,000	1,000
g	g, f	0,772	0,694
e	e, d	0,218	0,112

лекс. За единицу принята интенсивность комплекса a , состоящего из компонент a, b, c . Как показывает табл. 2, интенсивность комплекса g , состоящего из компонент g и f , несколько больше теоретической величины; интенсивность комплекса e , состоящего из компонент e и d , почти в два раза превышает теоретическую величину.

Увеличенные значения интенсивностей компонент e, d и g, f объясняются процессами в источнике света. Самопоглощение света в источнике не может быть ответственным за аномалию распределения интенсивности линий по компонентам, поскольку самопоглощение должно привести к уменьшению интенсивности компонент e и f , так как указанные компоненты воз-

никают при переходе атома в состояние $2s_{1/2}$, являющееся метастабильным и, следовательно, указанные компоненты должны испытывать значительно большее самопоглощение, чем остальные компоненты. Результаты, полученные при фотографировании света поперек капилляра, в пределах ошибок совпадают с результатами, полученными при наблюдении света вдоль капилляра. Таким образом, наши результаты по тритию подтверждают многократно наблюдавшуюся ранее сильную зависимость относительной интенсивности компонент тонкой структуры линий водорода и дейтерия от условий возбуждения (4).

Обращает на себя внимание тот факт, что увеличение интенсивности наблюдается для компонент, связанных с s -уровнями, испытывающим значительный вакуумный сдвиг. Подобное положение наблюдалось нами (5) в случае линии He II λ 4686 Å. Кун и Сериес (6) наблюдали увеличение интенсивности комплекса e в дейтерии, интенсивность которого превзошла теоретическую величину в 1,7 раза. Все это позволяет предположить, что теоретические данные для интенсивностей компонент тонкой структуры неверны, поскольку в них не учтены какие-то дополнительные взаимодействия между электроном атома с электромагнитным и электронно-позитронным вакуумом, вследствие которого вероятность перехода для компонент, связанных с уровнями s , возрастает, что приводит к увеличению интенсивности этих компонент по сравнению с остальными, для которых это взаимодействие менее выражено. Возможно, что мы имеем в данном случае наложение своего рода «вакуумного эффекта» для интенсивностей и эффектов, связанных с условиями возбуждения. Окончательный вывод может быть получен после детального исследования хода интенсивностей при изменении условий возбуждения для учета зависимости от условий возбуждения и выделения возможного «вакуумного эффекта для интенсивностей» в чистом виде.

В заключение выражаю благодарность Ф. А. Королеву за внимание и помощь при проведении данной работы, а также Д. Д. Иваненко за интерес к данной работе и помощь при проведении ее.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 IV 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Новейшее развитие квантовой электродинамики (сборн. ст.), ИЛ, 1954. ² H. R. Merzhanse, D. Terghanova, Am. J. Phys., 18, 466 (1950). ³ C. E. Moore, Atomic Energy Levels, 1, Washington, 1949, p. 1—3. ⁴ Г. Бете, Квантовая механика простейших систем, 1935. ⁵ П. С. Киреев, ДАН, 106, № 4 (1956). ⁶ H. Kuhn, C. W. Series, Proc. Roy. Soc., A 202, 127 (1950)

А. А. ЛОГУНОВ, Б. М. СТЕПАНОВ и А. Н. ТАВХЕЛИДЗЕ

О РОЛИ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ В ПРОЦЕССАХ ФОТОРОЖДЕНИЯ *

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 12 VII 1956)

Целью настоящей заметки является рассмотрение роли связанных состояний в дисперсионных соотношениях процессов фоторождения. Изучение этого вопроса существенно, поскольку он связан с анализом ненаблюдаемой области энергии в дисперсионных соотношениях. Порог фоторождения в системе координат $(\mathbf{p} + \mathbf{p}') = 0$ равен $\left(1 + \frac{\mu^2}{4p^2}\right) |\mathbf{p}|$ **. Рассмотрим область энергий E , в которой $E < |\mathbf{p}| + \frac{\mu^2}{4|\mathbf{p}|}$ и где, следовательно, возможно образование «связанных» состояний.

Антиэрмитову часть амплитуды реакции фоторождения можно представить в виде

$$\begin{aligned} A_{\pi, \omega}(E, \lambda e) = & \pi \sum_n \langle \dot{\Psi}_{-\mathbf{p}, s'} J_{\rho'}(0) \Psi_{n, \lambda e - \varepsilon p} \rangle \langle \dot{\Psi}_{n, \lambda e - \varepsilon p} I_m(0) \Psi_{\mathbf{p}, s} \rangle \times \\ & \times \delta(E - \sqrt{M_n^2 + \lambda^2 + \varepsilon^2 p^2} + \sqrt{M^2 + p^2}) - \\ & - \pi \sum_n \langle \dot{\Psi}_{-\mathbf{p}, s'} I_m(0) \Psi_{n, -\lambda e + \varepsilon p} \rangle \langle \dot{\Psi}_{n, -\lambda e + \varepsilon p} J_{\rho'}(0) \Psi_{\mathbf{p}, s} \rangle \times \\ & \times \delta(E + \sqrt{M_n^2 + \lambda^2 + \varepsilon^2 p^2} - \sqrt{M^2 + p^2}). \end{aligned} \quad (1)$$

Предположим, что между M и $M + \mu$ нет никаких связанных состояний мезон-нуклонной системы. Иными словами, $M_n \geq M + \mu$ при $n \geq 1$ ($e = 0$ соответствует однонуклонному состоянию системы). Рассмотрим область импульсов отдачи $p^2 < M\mu/2$. Тогда легко показать, что область интегрирования в дисперсионных соотношениях (10) работы (1) распадается на две части:

$$0 < E' < \frac{M\mu + \frac{1}{4}\mu^2 - p^2}{\sqrt{M^2 + p^2}} < E' < \infty. \quad (2)$$

В первой области отличный от нуля вклад в интеграл дают только однонуклонные состояния. Состояния с $n \geq 1$ дают вклад лишь в интеграл по второй области. Строго говоря, вторая область еще содержит ненаблюдаемую область энергий. Однако вклад от нее может быть сделан достаточно малым, если мы фиксируем надлежащим образом импульс отдачи.

* Работа доложена на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий V 1956 г.

** Мы придерживаемся обозначений и терминологии, принятых в (1).

Выражение для $A_{\xi, \omega}$ в первой области энергий может быть записано в виде:

$$A_{\xi, \omega}(E, \lambda e) = -\pi \frac{M^2 - 1/4\mu^2}{M^2 + p^2} \sum_{s''} \langle \Psi_{-p, s'} I_m(0) \Psi_{-\lambda e + \varepsilon p, s''} \rangle \langle \Psi_{-\lambda e + \varepsilon p, s''} J_{p'}(0) \Psi_{p, s} \rangle \delta \left(E - \frac{p^2 + 1/4\mu^2}{M^2 + p^2} \right).$$

Рассмотрим фигурирующие здесь средние значения от токов. В качестве примера вычислим среднее от мезонного тока $I_{p'}(0)$. Среднее от электромагнитного тока вычисляется аналогично.

Имеем:

$$\langle \Psi_{p', s'}^* I_{p'}(x) \Psi_{p, s} \rangle = e^{i(p' - p)x} \langle \Psi_{p', s'}^* I_{p'}(0) \Psi_{p, s} \rangle;$$

с другой стороны:

$$\langle \Psi_{p', s'}^* I_{p'}(x) \Psi_{p, s} \rangle = i \langle \Phi_{p', s'}^* \frac{\delta S}{\delta \varphi_{p'}(x)} \Phi_{p, s} \rangle.$$

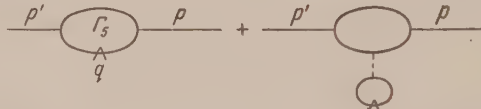
Вводя преобразование Фурье

$$\varphi_{p'}(x) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int e^{iqx} \varphi_{p'}(q) dq,$$

получим

$$\delta(p' - p + q) \langle \Psi_{p', s'}^* J_{p'}(0) \Psi_{p, s} \rangle = i \langle \Phi_{p', s'}^* \frac{\delta S}{\delta \varphi_{p'}(q)} \Phi_{p, s} \rangle.$$

Последнее выражение символически можно представить в виде следующей суммы графов:



Здесь Γ_5 — сильно связанная часть. Если бы здесь вместо значка \wedge стояли свободные мезонные линии, то рассматриваемая сумма была бы равна

$$g_5^{p'}(p, p', q) \Delta_c^{p'}(q).$$

Так как у нас отсутствует свободная мезонная линия, то полученное выражение следует дополнительно умножить на $(\mu^2 - q^2)$.

Пользуясь условием нормировки функций Грина при $p'^2 = M^2$, $p^2 = M^2$, $q^2 = \mu^2$, а также законом сохранения энергии — импульса находим окончательное выражение:

$$\langle \Psi_{p', s'}^* J_{p'}(0) \Psi_{p, s} \rangle = g \langle \bar{u}_{s'}(p') \gamma^5 \tau^{p'} u_s(p) \rangle.$$

Как легко видеть, g есть перенормированная псевдоскалярная константа связи мезонного и нуклонного полей.

В случае электромагнитного тока

$$\langle \Psi_{p', s'}^* I_m(0) \Psi_{p, s} \rangle = \langle u_{s'}(p') \left\{ e \frac{1 + \tau_3}{2} \gamma^m + \frac{1}{2} \hat{\mathbf{m}} [(k\gamma), \gamma^m] \right\} u_s(p) \rangle,$$

где $\hat{M} = \mu_p \frac{1+\tau_3}{2} + \mu_n \frac{1-\tau_3}{2}$; e — перенормированный заряд электрона; μ_p и μ_n — аномальные магнитные моменты протона и нейтрона.

С помощью полученных формул (4) и (5) не представляет труда написать в окончательном виде дисперсионные соотношения для фоторождения, которых учтены «связанные» состояния и выделена ненаблюдаемая область энергий. Полный анализ дисперсионных соотношений в приближении фиксированного источника дает результаты, эквивалентные результатам, полученным Лоу и Чу ⁽²⁾.

В заключение выражаем глубокую благодарность акад. Н. Н. Боголюбову, под руководством которого выполнена работа.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
4 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Логунов, Б. М. Степанов, ДАН, 110, № 3 (1956). ² G. F. Chew, E. L. Low, Phys. Rev., 101, 1579 (1956).

Р. В. ТЕЛЕСНИН и И. А. ЛЕДНЕВ
О НАБЛЮДЕНИИ МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ ФЕРРИТОВ
ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком И. К. Кикоиным 7 IX 1956)

При понижении температуры магнитная вязкость большинства ферромагнетиков, в частности ферритов, сильно возрастает (^{1,2}). Это возрастание вязкости можно наблюдать весьма простым способом. На тороидальный ферритовый образец с высокой начальной проницаемостью $\mu_0 \approx 200$ гаусс/эрст наносятся две обмотки: первичная намагничивающая и вторичная — измерительная; напряжение со вторичной обмотки через ламповый интегратор или обычную интегрирующую RC-цепочку и усилитель подает

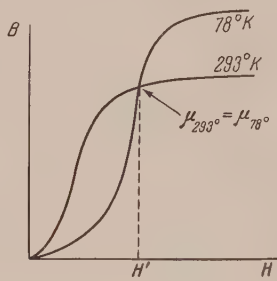


Рис. 1



Рис. 2

ся на вертикальный вход осциллографа. Развертывающее напряжение на осциллограф подается обычным способом с сопроотивления, включенного последовательно с намагничивающей обмоткой тороида (³). Через намагничивающую обмотку пропускается ток низкой частоты, например 50 гц. Амплитуда тока выбирается такой, чтобы феррит находился в поле H' при котором пересекаются статические кривые намагничивания, снятые при комнатной температуре и при температуре жидкого азота (рис. 1). Тогда значения статической магнитной проницаемости при этих двух температурах одинаковы, и уменьшение индукции B при достаточно низких частотах и низких температурах может вызываться лишь магнитной вязкостью.

На рис. 2 показаны осциллограммы петель гистерезиса феррита $O = 2000$ при температурах 293°K (узкая высокая петля) и 78°K (широкая низкая петля). Как видно, снижение индукции вследствие вязкости достигает весьма значительной величины, что должно учитываться при конструировании аппаратуры на ферритах, могущей работать при очень низких температурах.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
30 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. В. Телеснин, Е. Ф. Курицына, ДАН, 75, № 6, 797 (1950). ² Е. Ф. Курицына, ДАН, 84, № 1, 45 (1952). ³ Г. Гунд, Измерения при высокой частоте 1931.

М. И. ЮДИН

ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ПОЛЯ ВЕТРА И СВЯЗАННЫХ С НИМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Представлено академиком А. Л. Дородницыным 8 IX 1956)

Применяемые в настоящее время методы расчета изменений поля геопотенциала во времени, как правило, опираются на замену действительного ветра геострофическим. Для предвычисления поля ветра, однако, необходимо учитывать отклонения ветра от геострофических значений, в особенности в верхней тропосфере. Используя малость параграфа

$$\epsilon = \frac{1}{l} \frac{\partial v_s}{\partial s} \quad (1)$$

в случае крупномасштабного процесса (l — параметр Кориолиса, $\partial v_s / \partial s$ — характерное значение производной по горизонтали от горизонтальной составляющей скорости ветра), можно представить составляющие отклонения ветра от геострофического u' , v' по осям x , y в виде (1)

$$\begin{aligned} u' &= -\frac{1}{l} \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial v_r}{\partial x} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial y} \right); \\ v' &= \frac{1}{l} \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial x} + v_r \frac{\partial u_r}{\partial y} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

где t — время; ось x направлена на восток, ось y — на север; u_r , v_r — составляющие геострофического ветра, связанные с полем геопотенциала Φ соотношениями

$$u_r = -\frac{1}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial y}, \quad v_r = \frac{1}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial x}. \quad (2a)$$

Уравнения (2) и (2a) заменяют уравнения горизонтального движения, в которых отброшены члены порядка ϵ^2 по отношению к основным. Остальные уравнения динамики крупномасштабных атмосферных процессов в свободной атмосфере имеют вид (см., например, (2), X)

$$RT = -\zeta \frac{\partial \Phi}{\partial \zeta}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w}}{\partial \zeta} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{(\gamma_a - \gamma) RT}{g \zeta} \tilde{w} = 0. \quad (5)$$

Здесь ζ — отношение давления воздуха к стандартному давлению (1000 мб); T — абсолютная температура воздуха; R — газовая постоянная; $\gamma_a - \gamma$ — разность между адиабатическим и действительным вертикальными градиентами температуры; g — ускорение силы тяжести. Движение принимается адиабатическим.

Величина \tilde{w} представляет собой аналог вертикальной скорости воздуха w и определяется соотношением

$$\tilde{w} = -\frac{\zeta}{RT} \left(g\omega - \frac{\partial \Phi}{\partial t} - u \frac{\partial \Phi}{\partial x} - v \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right).$$

Отсутствие потока массы через верхнюю границу атмосферы описывается граничным условием

$$\tilde{w} = 0 \quad \text{при } \zeta = 0.$$

Вблизи поверхности Земли \tilde{w} определяется в основном орографическими возмущениями и турбулентным трением. При поле геострофического ветра, определенном до момента t_1 включительно, граничное условие записывается следующим образом:

$$\tilde{w} = \tilde{w}_1(x, y, t) \quad \text{при } \zeta = 1 - \delta, \quad t \leq t_1,$$

где $\tilde{w}_1(x, y, t)$ — известная функция своих аргументов; δ в приближенном расчете можно считать постоянным, $\delta \approx 0,05$.

Заменяя в уравнении (4) $u = -\frac{1}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial y} + u'$, $v = \frac{1}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + v'$, получаем

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w}}{\partial \zeta} = \frac{1}{l} \frac{dl}{dy} \frac{\partial \Phi}{\partial x}.$$

В дальнейших расчетах l , dl/dy и величину

$$a^2 = \frac{(\gamma_a - \gamma) R^2 T}{g l^2}$$

будем считать постоянными. Относительная ошибка расчетов при этом не превзойдет ε (3). С той же точностью u , v в уравнении (5) можно заменить величинами u_r , v_r :

$$a^2 \tilde{w} = \frac{R \zeta}{l^2} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial x} + v_r \frac{\partial T}{\partial y} \right).$$

Составим теперь величины, аналогичные составляющим вихря: u'/a , v'/a , \tilde{w} . Имеем:

$$\begin{aligned} a^2 \frac{\partial \tilde{w}}{\partial y} - \zeta^2 \frac{\partial v'}{\partial \zeta} &= -\frac{2\zeta^2}{l^3} \{ \Phi_y, \Phi_\zeta \}; \\ \zeta^2 \frac{\partial u'}{\partial \zeta} - a^2 \frac{\partial \tilde{w}}{\partial x} &= -\frac{2\zeta^2}{l^3} \{ \Phi_\zeta, \Phi_x \}; \\ a^2 \frac{\partial v'}{\partial x} - a^2 \frac{\partial u'}{\partial y} &= -\frac{2a^2}{l^3} \{ \Phi_x, \Phi_y \}. \end{aligned}$$

Здесь символ $\{A, B\}$ обозначает функциональный определитель

$$\{A, B\} = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial x}.$$

Поскольку правые части (10) и (4а) не содержат производных по времени, поля u' , v' , \tilde{w} могут быть определены по полю геострофического

тра в начальный момент времени t_0 . Для этой цели удобно ввести новые функции $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \chi$ соотношениями

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{\partial \psi_3}{\partial y} - \frac{\partial \psi_2}{\partial \zeta} + a^2 \frac{\partial \chi}{\partial x}; \\ v' &= \frac{\partial \psi_1}{\partial \zeta} - \frac{\partial \psi_3}{\partial x} + a^2 \frac{\partial \chi}{\partial y}; \\ \tilde{w} &= \frac{\partial \psi_2}{\partial x} - \frac{\partial \psi_1}{\partial y} + \zeta^2 \frac{\partial \chi}{\partial \zeta} \end{aligned} \quad (12)$$

и дополнительном условии

$$a^2 \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + a^2 \frac{\partial \psi_2}{\partial y} + \zeta^2 \frac{\partial \psi_3}{\partial \zeta} = 0. \quad (13)$$

Тогда из уравнений (10) и (4а) получаем

$$\begin{aligned} \zeta^2 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial \zeta^2} + a^2 \Delta \psi_1 &= \frac{2\zeta^2}{l^3} \{\Phi_y, \Phi_\xi\}; \\ \zeta^2 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial \zeta^2} + a^2 \Delta \psi_2 &= \frac{2\zeta^2}{l^3} \{\Phi_\xi, \Phi_x\}; \\ \frac{\partial}{\partial \zeta^2} \left(\zeta^2 \frac{\partial \psi_3}{\partial \zeta} \right) + a^2 \Delta \psi_3 &= \frac{2a^2}{l^3} \{\Phi_x, \Phi_y\}; \\ \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\zeta^2 \frac{\partial \chi}{\partial \zeta} \right) + a^2 \Delta \chi &= \frac{1}{l^2} \frac{dl}{dy} \Phi_x. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь Δ — оператор Лапласа на плоскости $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$.

Граничные условия, соответствующие (7) и (8), можно задать, в частности, следующим простым образом:

$$\text{при } \zeta = 0 \quad \psi_1 = \psi_2 = \frac{\partial \psi_3}{\partial \zeta} = \frac{\partial \chi}{\partial \zeta} = 0; \quad (15)$$

$$\text{при } \zeta = 1 - \delta \quad \psi_1 = \psi_2 = \frac{\partial \psi_3}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial \chi}{\partial \zeta} = \frac{\tilde{w}_1(x, y, t)}{(1 - \delta)^2}.$$

Уравнения (14) могут быть проинтегрированы численно, аналогично⁽⁴⁾, или аналитическим путем, после чего u', v', \tilde{w} находятся из (12), а изменения геострофического ветра и температуры во времени из (2) и (5а).

Таким образом, мы можем построить поля указанных метеорологических элементов для момента времени $t_0 + \tau$. Численный прогноз полей геострофического и действительного ветра, вертикальной скорости, температуры воздуха получается повторением процесса нужное число раз. Значения величин u', v' могут быть использованы также для определения скорости перемещения особых точек в поле геопотенциала. Например, составляющие c_x, c_y скорости перемещения барического центра е. точки, в которой $\partial \Phi / \partial x = \partial \Phi / \partial y = 0$ находятся из уравнений

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial t} + c_x \frac{\partial}{\partial x} + c_y \frac{\partial}{\partial y} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial x} &= 0; \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + c_x \frac{\partial}{\partial x} + c_y \frac{\partial}{\partial y} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial y} &= 0, \end{aligned}$$

куда при учете (2) и $u_r = 0, v_r = 0$ получаем

$$c_x = l^2 \frac{u' \Phi_{yy} - v' \Phi_{xy}}{\{\Phi_x, \Phi_y\}}, \quad c_y = l^2 \frac{v' \Phi_{xx} - u' \Phi_{xy}}{\{\Phi_x, \Phi_y\}}. \quad (16)$$

Предлагаемый здесь метод численного прогноза обладает рядом преимуществ не только перед «баротропной моделью», широко используемой на практике, но и перед бароклинной моделью (см., например, (4)).

Прежде всего необходимо иметь в виду, что «индивидуальные» (в горизонтальном движении с геострофической скоростью) изменения времени ветра и температуры воздуха при обычном методе прогноза описываются, как правило, малыми разностями двух больших величин — адвективных и конвективных изменений, что существенно сказывается на точности определения этих весьма важных элементов. Предлагаемый метод, в котором индивидуальные изменения метеорологических элементов выводятся непосредственно из (2) и (5а), свободен от указанного недостатка. Кроме того, весьма существенно, что в правые части уравнений (14) входят лишь вторые пространственные производные от геопотенциала, в то время как совершенно аналогичный оператор от $d\Phi/dt$ равен правой части, содержащей более высокие (третьи) производные. Поскольку вычисление третьих производных эмпирических определяемых полей сопряжено с большими погрешностями, нахождение геострофического ветра и тем более отклонений ветра от геострофического обычным методом является принципиально менее точным, чем по прямому методу, изложенному выше.

Поступило
6 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. А. К и б е л ь, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 5, 628 (1940). ² Основы динамической метеорологии, под ред. Д. Л. Лайхтмана и М. И. Юдина, 1955. ³ М. И. Ю д и н, Тр. ГГО, в. 33 (95), 5 (1952). ⁴ K. H i n k e l m a n n, Tellus, 5, No. 3, 211 (1953). No. 4, 499 (1953).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. А. ВОРОБЬЕВ

ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА В КРИСТАЛЛАХ И ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ
МЕЖДУ ИОНАМИ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 21 VI 1956)

Падающая электромагнитная волна, распространяясь в диэлектрике, вызывает вынужденные колебания его частиц. В результате сложения падающей волны с возникающими в диэлектрике вторичными волнами, образуется результирующая волна с фазой, отличной от фазы первичных волн, в результате сложения вынужденных колебаний с падающими, электромагнитная волна распространяется в диэлектрике с фазовой скоростью, отличной от скорости света в вакууме. Из условия резонанса следует, что различие в скоростях распространения света в диэлектрике и в вакууме будет тем больше, чем сильнее вынужденные колебания частиц. В этом случае возрастают показатели преломления и поглощения света. Если частота падающих колебаний близка, но меньше частоты собственных колебаний электронов диэлектрика, то вынужденные колебания отстают по фазе от вынуждающих; коэффициент преломления аномально велик, а при прохождении через условия резонанса, когда вынужденные колебания опережают по фазе вынуждающие колебания, коэффициент преломления становится аномально малым. В этой резонансной области достигает большого значения коэффициент поглощения света.

Таким образом, величина коэффициента преломления электромагнитных волн в диэлектрике связана с возбуждением колебаний его частиц, а следовательно, энергией их закрепления в решетке. Прохождение через кристалл видимого света вызывает колебание электронов. Коэффициент преломления света характеризует энергию закрепления электронов в кристалле. С увеличением энергии закрепления электронов в кристалле уменьшаются их вынужденные колебания и уменьшается коэффициент преломления.

Как видно из рис. 1, вблизи области собственного поглощения кривая дисперсии со стороны длинных волн сильно изгибается вследствие быстрого роста коэффициента поглощения. Свет проходит, слабо взаимодействуя с электронами диэлектрика. Если энергия световой волны мала по

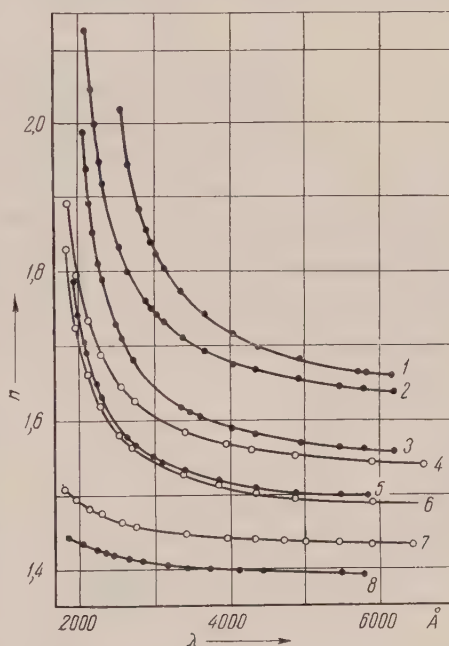


Рис. 1. Показатели преломления некоторых кристаллов галогидно-щелочных соединений (по Гиулаю): 1 — KJ; 2 — NaBr; 3 — KBr; 4 — NaCl; 5 — RbCl; 6 — KCl; 7 — CaF₂; 8 — LiF

сравнению с энергией закрепления электронов, то увеличение энергии решетки с переходом от KJ к LiF сопровождается уменьшением коэффициента преломления.

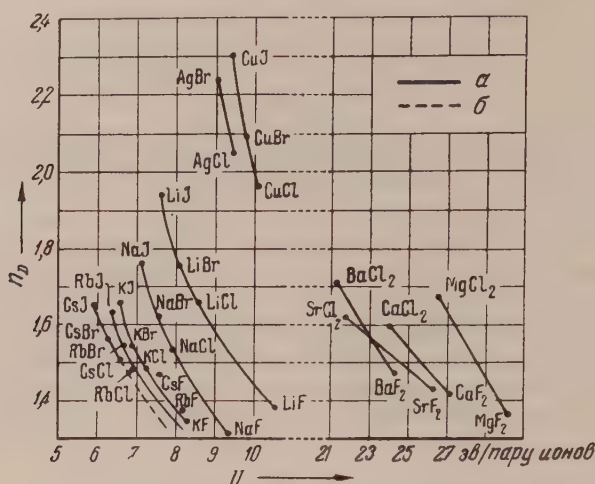


Рис. 2. Зависимость коэффициента преломления n_D (при $\lambda = 5893 \text{ \AA}$) от энергии решетки U для монокристаллов галоидных соединений металлов первой и второй групп (по измерениям Тессмана, Кана и Шокли): a — структура решетки типа NaCl; b — структура решетки типа CsCl

От начала группы (Li) к концу группы (Cs) показатель преломления n_D кристаллов галоидных соединений уменьшается (рис. 2). Величина n_D увеличивается с возрастанием электронной поляризуемости аниона при движении от фторидов к иодидам.

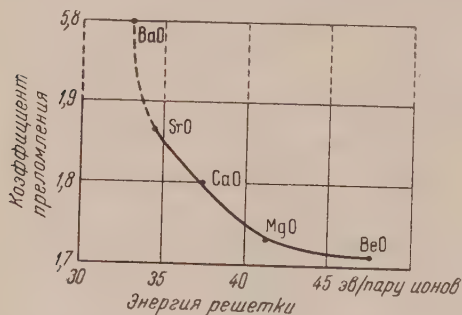


Рис. 3. Зависимость коэффициента преломления от энергии решетки для окислов металлов второй группы таблицы Менделеева

электрического коэффициента в дальнейшем не изменяется с частотой, мы принимаем $n = \sqrt{34} = 5,8$. По экспериментальным данным показатель преломления кристаллов уменьшается с возрастанием энергии решетки. Зависимость показателя преломления от химического состава может быть использована для испытания свойства материалов.

Томский политехнический институт
им. С. М. Кирова

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. Ферми, Молекулы и кристаллы, ИЛ, 1947. ² J. R. Tessman, A. H. Kahn, W. Shockley, Phys. Rev., 92, 890 (1953). ³ W. W. Tyler, R. L. Sproull, Phys. Rev., 83, 548 (1951). ⁴ R. S. Rever, R. L. Sproull, Phys. Rev., 83, 801 (1951).

А. Г. ЛУНЦ

МЕТОД СИНТЕЗА (1, k)-ПОЛЮСНИКА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 7 VIII 1956)

Как известно ⁽¹⁾, любое эквивалентное преобразование контактного полюсника A , т. е. преобразование, не изменяющее полных проводимостей между всевозможными парами полюсов, может быть осуществлено преобразованием характеристической функции этого многополюсника:

$$f_A(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{\alpha, \beta=1}^n a_{\alpha\beta} x_\alpha \bar{x}_\beta. \quad (1)$$

Здесь $a_{\alpha\beta}$ обозначает непосредственную проводимость от полюса M_α к полюсу M_β . Если многополюсник A рассматривать как $(1, n-1)$ -полюсник с входом M_1 и выходами M_2, M_3, \dots, M_n , то эквивалентным преобразованием такого $(1, n-1)$ -полюсника следует назвать преобразование, не изменяющее полных проводимостей $\chi_{\alpha\beta}(A)$ ($\beta = 2, 3, \dots, n$) между входом M_1 и любым выходом. В настоящей статье доказывается, что любое такое преобразование может быть осуществлено также алгебраическим преобразованием характеристической функции (1), но с использованием системы неравенств

$$x_1 = 1, \quad x_\beta \leq \chi_{1\beta}(A) \quad (\beta = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Рассмотрим класс K эквивалентных $(1, n-1)$ -полюсников, т. е. множество таких n -полюсников A , полные проводимости которых равны заданным величинам $\chi_{1\beta}$:

$$\chi_{1\beta}(A) = \chi_{1\beta} \quad (\beta = 2, 3, \dots, n). \quad (3)$$

Обозначим $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} x_1 \bar{x}_\beta = u$, $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\beta} x_\beta = v$, где для симметрии значений положено $\chi_{11} = 1$.

Теорема 1. Характеристические функции всех многополюсников из лежат в промежутке $[u, v]$, никаких других характеристических функций этот промежуток не содержит.

Доказательство. Пусть $A \in K$, т. е. имеет место (3), тогда

$$f_A(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\alpha, \beta=1}^n \chi_{\alpha\beta}(A) x_\alpha \bar{x}_\beta \geq \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} x_1 \bar{x}_\beta = u. \quad \text{С другой стороны } (1),$$

неравенства $\chi_{1\alpha}(A) \cdot \chi_{\alpha\beta}(A) \leq \chi_{1\beta}(A)$ получаем $\chi_{\alpha\beta}(A) \leq \chi_{1\beta} + \bar{\chi}_{1\alpha}$; по-

$$\text{тому } f_A(x_1, \dots, x_n) \leq \sum_{\alpha, \beta=1}^n (\chi_{1\beta} + \bar{\chi}_{1\alpha}) x_\alpha \bar{x}_\beta \leq \sum_{\alpha, \beta=1}^n \chi_{1\beta} \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\alpha} x_\alpha = v.$$

Обратно, пусть $u \leq f_A(x_1, \dots, x_n) \leq v$; покажем, что $A \in K$. Положив

в неравенстве $u = \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} x_1 \bar{x}_\beta \leq f_A(x_1, \dots, x_n) \leq \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\beta}(A) x_\beta$

$x_\beta = \chi_{1\beta}(A)$ ($\beta = 1, 2, \dots, n$), получим $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} \bar{\chi}_{1\beta}(A) \leq 0$, т. е. $\chi_{1\beta} \leq \bar{\chi}_{1\beta}(A)$

Далее, положив в неравенстве $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) x_1 \bar{x}_\beta \leq f_A(x_1, \dots, x_n)$
 $\leq \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta} \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\beta} x_\beta = v$ $x_\beta = \chi_{1\beta}$ ($\beta = 1, 2, \dots, n$), получим $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{\chi}_{1\beta}$
 ≤ 0 , т. е. $\chi_{1\beta}(A) \leq \chi_{1\beta}$. Следовательно, $\chi_{1\beta}(A) = \chi_{1\beta}$, т. е. $A \in K$.

Теорема 2. Для того чтобы два $(1, n-1)$ -полюсника A и B были эквивалентны, т. е.

$$\chi_{1\beta}(A) = \chi_{1\beta}(B) \quad (\beta = 1, 2, \dots, n),$$

необходимо и достаточно, чтобы при всех значениях x_1, x_2, \dots, x_n , удовлетворяющих неравенствам (2), были равны их характеристические функции:

$$f_A(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_B(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Доказательство. Необходимость. Доказанное неравенство $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) x_1 \bar{x}_\beta \leq f_A(x_1, \dots, x_n) \leq \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\beta}(A) x_\beta$ для значений переменных, удовлетворяющих (2), дает

$$\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{x}_\beta \leq f_A(x_1, \dots, x_n) = \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{x}_\beta.$$

Пользуясь (4), получим для $f_B(x_1, \dots, x_n)$ такое же выражение, следовательно, равенство (5).

Достаточность. Положив, что в неравенстве $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(B) x_1 \bar{x}_\beta \leq f_B(x_1, \dots, x_n) = f_A(x_1, \dots, x_n) \leq \sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(A) \bar{x}_\beta + \bar{\chi}_{1\beta}(A) x_\beta$ величину $x_\beta = \chi_{1\beta}(A)$ ($\beta = 1, 2, \dots, n$), получим $\sum_{\beta=1}^n \chi_{1\beta}(B) \bar{\chi}_{1\beta}(A) \leq 0$, т. е.
 $\chi_{1\beta}(B) \leq \bar{\chi}_{1\beta}(A)$.

Следовательно, равенство (5) имеет место для всех значений x_1, x_2, \dots, x_n , удовлетворяющих неравенствам $x_1 = 1, x_\beta \leq \chi_{1\beta}(B)$ ($\beta = 1, 2, \dots, n$), поэтому, меняя ролями A и B , будем также иметь

$$\chi_{1\beta}(A) \leq \chi_{1\beta}(B).$$

Из (6) и (7) следует эквивалентность $(1, n-1)$ -полюсников A и B . Доказанная теорема дает метод синтеза $(1, n-1)$ -полюсника с заданными проводимостями $\chi_{12}, \chi_{13}, \dots, \chi_{1n}$. Сначала пишем выражение

$f_A(1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{\beta=2}^n \chi_{1\beta} \bar{x}_\beta$; затем, пользуясь неравенствами (2), представим его. Например, к $f_A(1, x_2, \dots, x_n)$ можно прибавлять члены вида $a_{\alpha\beta} x_\alpha \bar{x}_\beta$ ($\alpha, \beta = 2, 3, \dots, n$), где величина $a_{\alpha\beta}$ удовлетворяет неравенству $a_{\alpha\beta} \chi_{1\alpha} \leq \chi_{1\beta}$, так как в этом случае будем иметь для рассматриваемых значений переменных x_2, x_3, \dots, x_n : $a_{\alpha\beta} x_\alpha \bar{x}_\beta \leq a_{\alpha\beta} \chi_{1\alpha} \bar{x}_\beta \leq \chi_{1\beta} \bar{x}_\beta$
 $\leq f_A(1, x_2, \dots, x_n)$.

Нетрудно показать, что, пользуясь только этим приемом и тождественными преобразованиями, можно получить любой $(1, n-1)$ -полюсник, удовлетворяющий условиям задачи.

Пример 1. Построить $(1, 2)$ -полюсник с проводимостями: $\chi_{12} = a + bkd + cg + chd$, $\chi_{13} = bk + ad + aek + ch + cgd + cgek$.

Подбираем a_{23} и a_{32} , удовлетворяющие неравенствам: $a_{23}\chi_{12} \leq \chi_{13}$, $\chi_{13} \leq \chi_{12}$, т. е. $a_{23}(a + bkd + cg + chd) \leq bk + ad + aek + ch + cgd + cgek$, $a_{32}(bk + ad + aek + ch + cgd + cgek) \leq a + bkd + cg + chd$.

Эти неравенства равносильны неравенствам $a_{23}(a + cg) \leq (d + ek) \times (a + cg) + ch + bk$, $a_{32}(bk + ch) \leq d(bk + ch) + a + cg$.

Можно, например, взять $a_{23} = d + ek$, $a_{32} = d$. Тогда будем иметь сле упрощений $f_A(1, x_2, x_3) = \chi_{12}x_2 + \chi_{13}x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{32}x_3x_2 = (a + cg)x_2 + (bk + ch)x_3 + (d + ek)x_2x_3 + dx_3x_2$.

Дальнейшее упрощение можно получить введением новых узлов: $(1, x_2, x_3) = ax_2 + d(x_2 \circ x_3) + (ex_2 + b) \cdot kx_3 + c \cdot (gx_2 + hx_3)$, где $x_2 \circ x_3$ обозначает симметрическую разность, т. е., вообще, $x \circ y = xy + xy$, $f_A(1, x_2, x_3, x_5) = ax_2 + d(x_2 \circ x_3) + (ex_2 + b)x_4 + kx_3x_4 + cx_5 + (gx_2 + hx_3)x_5 = ax_2 + d(x_2 \circ x_3) + ex_2x_4 + bx_4 + kx_3x_4 + cx_5 + gx_5x_2 + hx_5x_3$, что соответствует рис. 1а, где стрелками означены направления проводимостей.

Пример 2. Построить $(1, 2)$ -полюсник A без вентильных элементов с проводимостями $\chi_{12} = c + ed + adg + ab + beg$, $\chi_{13} = b + dg + aed + ac + ceg$.

Для a_{23} и a_{32} , как и в предыдущем примере, пишем неравенства $a_{23}\chi_{12} \leq \chi_{13}$, $a_{32}\chi_{13} \leq \chi_{12}$, т. е. $a_{23}(c + ed + adg + ab + beg) \leq b + dg + aed + ac + ceg$, $a_{32}(b + dg + aed + ac + ceg) \leq c + ed + adg + ab + beg$, которые равносильны неравенствам $a_{23}(c + de) \leq b + a(c + de) + g(d + ce)$, $a_{32}(b + dg) \leq c + a(b + dg) + e(d + bg)$.

Можно, например, взять $a_{23} \leq b + a + eg$, $a_{32} \leq c + a + eg$, но так как в искомом решении должно быть $a_{23} = a_{32}$, то $a_{23} = a_{23}a_{32} \leq (b + a + eg) \cdot (c + a + eg) = bc + a + eg$. Взяв $a_{23} = a + bc + eg$, будем иметь сле упрощений $f_A(1, x_2, x_3) = \chi_{12}x_2 + \chi_{13}x_3 + a_{23}(x_2 \circ x_3) = (c + de)x_2 + (b + dg)x_3 + (a + eg)(x_2 \circ x_3)$.

Дальнейшее упрощение можно получить введением нового узла: $(1, x_2, x_3) = cx_2 + bx_3 + a(x_2 \circ x_3) + (ex_2 + gx_3) \cdot (ex_2 + gx_3 + d)f_A(1, x_2, x_3, x_5) = cx_2 + bx_3 + a(x_2 \circ x_3) + e(x_2 \circ x_4) + g(x_3 \circ x_4) + dx_4$, что соответствует рис. 1б.

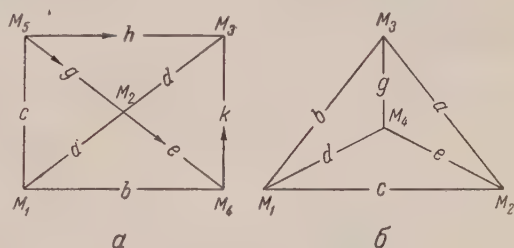


Рис. 1

Ленинградский электротехнический институт
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило
26 VI 1956.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 А. Г. Лу н ц, Изв. АН СССР, сер. матем., 16, № 5 (1952).

С. В. СТРАХОВ

О ВЛИЯНИИ ВТОРЫХ ГАРМОНИК В РАЗЛОЖЕНИЯХ ИНДУКТИВНОСТЕЙ И ВЗАИМИНДУКТИВНОСТЕЙ СТАТОРА НА СТРУКТУРУ УРАВНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 13 VII 1956)

Как известно, уравнения переходных электро-механических процессов явнополюсной синхронной машины, записанные в фазных координатах, весьма неудобны для проведения исследований, ибо уравнения, связывающие потоко-сцепления статора и ротора с токами, и уравнение электро-

магнитного момента содержат периодические функции угла $\theta = \int_0^t \omega dt + \theta_0$

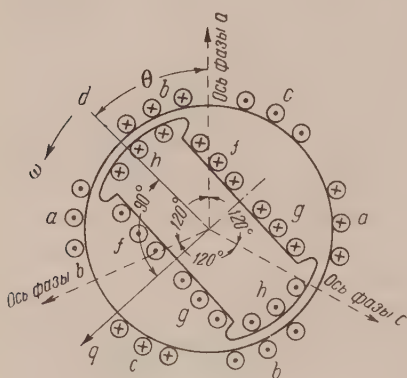


Рис. 1

между магнитной осью фазы a статора и продольной осью d ротора (рис. 1).

Парк ⁽¹⁾ предложил производить в вышеуказанных уравнениях такую замену переменных, которая позволяет исключить из них периодические функции угла θ . При этом в случае постоянной скорости ротора эти уравнения преобразуются в уравнения с постоянными коэффициентами, что весьма облегчает исследования переходных электромагнитных процессов в синхронной машине.

С геометрической точки зрения преобразование Парка обычно истолковывают как отнесение уравнений синхронной машины к координатным осям, вращающимся с той же скоростью, что и ротор (иначе говоря к осям, жестко связанным с ротором).

Однако, как будет показано ниже, отнесение уравнений к координатным осям, жестко связанным с ротором, еще недостаточно для исключения периодических коэффициентов из исходных уравнений машины. Нужно еще наложить дополнительное соотношение на коэффициенты в разложениях в ряды Фурье индуктивностей и взаимоиндуктивностей статора. И только при выполнении этого дополнительного соотношения периодические коэффициенты могут быть исключены. Поэтому преобразование координат, вообще говоря, не эквивалентно замене всех контуров или части их преобразованными контурами, вращающимися вместе с выбранными координатными осями ⁽²⁾.

Для доказательства нашего утверждения рассмотрим синхронную машину, присоединенную к сети (рис. 2), фазные напряжения которой и

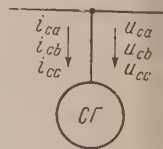


Рис. 2

u_{cc} ; фазные токи статора i_{ca} , i_{cb} , i_{cc} ; напряжения на зажимах обмотки возбуждения u_f , продольной успокоительной обмотки u_g и поперечной успокоительной обмотки u_h ; токи этих обмоток, соответственно, i_g и i_h . Расположение обмоток показано на рис. 1. Положительные направления токов относительно одноименных зажимов обмоток показаны на рис. 3.

Запишем уравнения закона Ома и потокосцеплений фаз статора и обмоток ротора

$$[u_c] = r_c [i_c] + \frac{d[\psi_c]}{dt}; \quad [u_p] = [R_{pp}] [i_p] + \frac{d[\psi_p]}{dt}; \quad (1)$$

$$[\psi_c] = [L_{cc}] [i_c] + [M_{cp}] [i_p]; \quad [\psi_p] = [M_{pc}] [i_c] + [L_{pp}] [i_p],$$

$$[u_c] = \begin{bmatrix} u_{ca} \\ u_{cb} \\ u_{cc} \end{bmatrix}; \quad [u_p] = \begin{bmatrix} u_f \\ u_g \\ u_h \end{bmatrix};$$

$$[R_{pp}] = \begin{bmatrix} r_f & 0 & 0 \\ 0 & r_g & 0 \\ 0 & 0 & r_h \end{bmatrix}; \quad [L_{pp}] = \begin{bmatrix} L_f & M_{fg} & 0 \\ M_{fg} & L_g & 0 \\ 0 & 0 & L_h \end{bmatrix};$$

$$[L_{cc}] = \begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ab} & L_b & M_{bc} \\ M_{ac} & M_{bc} & L_c \end{bmatrix} = \quad (3)$$

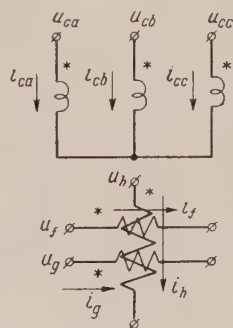


Рис. 3

$$\begin{bmatrix} L_{cp} + L_m \cos 2\theta & -M_{cp} + M_0 \cos (2\theta - 120^\circ) & -M_{cp} + M_0 \cos (2\theta + 120^\circ) \\ -M_{cp} + M_0 \cos (2\theta - 120^\circ) & L_{cp} + L_m \cos (2\theta + 120^\circ) & -M_{cp} + M_0 \cos 2\theta \\ -M_{cp} + M_0 \cos (2\theta + 120^\circ) & -M_{cp} + M_0 \cos 2\theta & L_{cp} + L_m \cos (2\theta + 120^\circ) \end{bmatrix};$$

$$[M_{cp}] = [M_{pc}] = \begin{bmatrix} M_f \cos \theta & M_g \cos \theta & -M_h \sin \theta \\ M_f \cos (\theta - 120^\circ) & M_g \cos (\theta - 120^\circ) & -M_h \sin (\theta - 120^\circ) \\ M_f \cos (\theta + 120^\circ) & M_g \cos (\theta + 120^\circ) & -M_h \sin (\theta + 120^\circ) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

где L_f , L_g , L_h — индуктивности обмотки возбуждения, продольной и поперечной успокоительных обмоток; M_{fg} — взаимная индуктивность обмотки возбуждения и продольной успокоительной обмотки; M_f , M_g , M_h — максимальные значения взаимоиндукции фазы статора с обмоткой возбуждения, продольной и поперечной успокоительными обмотками.

Вводим матрицы статорного $[A_c]$ и роторного $[A_p]$ преобразований:

$$[A_c] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos (\theta - 120^\circ) & \cos (\theta + 120^\circ) \\ -\sin \theta & -\sin (\theta - 120^\circ) & -\sin (\theta + 120^\circ) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}; \quad [A_p] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Эти матрицы позволяют связать величины напряжений, токов и потокосцеплений статора и ротора до и после преобразования. Матрицы напряжений, токов и потокосцеплений после преобразования мы обозначим индексом штрих:

$$[u'_c] = \begin{bmatrix} u_{cd} \\ u_{cq} \\ u_{c0} \end{bmatrix} = [A_c] [u_c]; \quad [u'_p] = \begin{bmatrix} u_{pd} \\ u_{pq} \\ u_{p0} \end{bmatrix} = [A_p] [u_p]. \quad (6)$$

Откажемся теперь от допущения, которое до сих пор обычно делось в литературе ⁽³⁻⁵⁾, а именно, не будем считать, что амплитуды вращающихся гармоник L_m и M_0 разложений в ряды Фурье индуктивностей L_a , L_b , и взаимных индуктивностей M_{ab} , M_{ac} , M_{bc} обмоток статора одинаковы. Наоборот, примем, что они неодинаковы, т. е.

$$L_m \neq M_0.$$

Для преобразования уравнений закона Ома и потокосцеплений статора умножим слева обе части (1) для $[u_c]$ и $[\psi_c]$ на $[A_c]$. С учетом (2) (6) получим

$$[u'_c] = r_c [i'_c] + \frac{d[\psi'_c]}{dt} + \begin{bmatrix} -\psi_{cq} \\ \psi_{cd} \\ 0 \end{bmatrix} \frac{d\theta}{dt}; \quad [\psi'_c] = [L'_{cc}] [i'_c] + [M'_{cp}] [i'_p],$$

где

$$[L'_{cc}] = [A_c] [L_{cc}] [A_c^{-1}] = \begin{bmatrix} L_d + 0,5(L_m - M_0) & 0 & (L_m - M_0) \cos 3\theta \\ 0 & L_q - 0,5(L_m - M_0) & -(L_m - M_0) \sin 3\theta \\ 0,5(L_m - M_0) \cos 3\theta & -0,5(L_m - M_0) \sin 3\theta & L_0 \end{bmatrix};$$

$[A_c^{-1}]$ и $[A_p^{-1}]$ — обратные матрицы статорного и роторного преобразований; $L_0 = L_{cp} - 2M_{cp}$ — индуктивность нулевой последовательности статора; $L_d = L_{cp} + M_{cp} + \frac{3}{2}M_0$, $L_q = L_{cp} + M_{cp} - \frac{3}{2}M_0$ — синхронные индуктивности статора по продольной и поперечной осям. Представив (8) в развернутом виде получим равенства, данные А. Г. Иосифьяном ⁽⁶⁾.

Для преобразования уравнений закона Ома и потокосцеплений ротора умножим слева обе части (1) для $[u_p]$ и $[\psi_p]$ на $[A_p]$. С учетом (6) получим

$$[u'_p] = [R'_{pp}] [i'_p] + \frac{d[\psi'_p]}{dt}; \quad [\psi'_p] = [M'_{pc}] [i'_c] + [L'_{pp}] [i'_p],$$

где $[M'_{cp}]$, $[M'_{pc}]$, $[L'_{pp}]$ и $[R'_{pp}]$ от угла θ не зависят.

Отправляясь от известного выражения электромагнитного момента

$$T = \frac{1}{2} [i_t] \frac{d[L]}{d\theta} [i],$$

где

$$[i] = \begin{bmatrix} i_c \\ i_p \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad [L] = \begin{bmatrix} L_{cc} & M_{cp} \\ M_{pc} & L_{pp} \end{bmatrix},$$

после преобразований получим

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i'_c \\ i'_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [A_{ct}^{-1}] \frac{d[L_{cc}]}{d\theta} [A_c^{-1}] [i'_c] + [A_{ct}^{-1}] \frac{d[M_{cp}]}{d\theta} [A_p^{-1}] [i'_p] \\ [A_{pt}^{-1}] \frac{d[M_{pc}]}{d\theta} [A_c^{-1}] [i'_c] \end{bmatrix}$$

и окончательно:

$$T = \frac{3}{2} [i_{cd} i_{cq} i_{c0} i_{pd} i_{pq} i_{p0}] \times \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0,5 L_m + M_0 & (M_0 - L_m) \sin 3\theta & 0 & -0,5 M_h & 0 \\ 0,5 L_m + M_0 & 0 & (M_0 - L_m) \cos 3\theta & 0,25 (M_f + M_g) & 0 & 0,25 (M_f - M_g) \\ (M_0 - L_m) \sin 3\theta & (M_0 - L_m) \cos 3\theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 (M_f + M_g) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,5 M_h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 (M_f - M_g) & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dp} \\ i_{pq} \\ i_{p0} \\ i_{pd} \\ i_{pd} \\ i_{p0} \end{bmatrix}$$

Теперь к полученным выше уравнениям напряжений и потокоцеплений статора и ротора (8) и (10) добавим уравнение движения ротора

$$T_d - T = J \frac{d^2\theta}{dt^2} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (14)$$

Здесь T_d — момент первичного двигателя; J — момент инерции ротора синхронного генератора, вала турбины и вращающихся вместе с ними частей. Таким образом мы получили 13 уравнений (8), (10) и (14), связывающих 13 неизвестных i_{cd} , i_{cq} , i_{c0} , ψ_{cd} , ψ_{cq} , ψ_{c0} , i_{pd} , i_{pq} , i_{p0} , ψ_{pd} , ψ_{pq} , ψ_{p0} и θ . Решение полученной системы уравнений одним из численных методов, а всего целесообразнее — с помощью интегратора позволяет рассчитать любые переходные электро-механические процессы в синхронной машине.

Равенства (9) и (13) доказывают, что в общем случае для исключения периодических коэффициентов из исходных уравнений явнополюсной синхронной машины еще недостаточно вращать координатные оси со скоростью ротора. Например, при $L_m \neq M_0$ периодические коэффициенты ($\sin 3\theta$, $\cos 3\theta$) не исключаются из исходных уравнений машины, несмотря на то, что они относятся к координатным осям, жестко связанным с ее ротором (см. (9) и (13)). При этих же условиях ($L_m \neq M_0$) уравнения, связывающие нулевые составляющие токов, напряжений и потокоцеплений, не представляют собой отдельной системы, решающейся независимо от уравнений для продольных и поперечных составляющих, так как продольные и поперечные составляющие потокоцеплений статора будут зависеть от нулевых составляющих тока статора, а нулевая составляющая потокоцепления статора будет зависеть от всех составляющих его токов. Если L_m существенно отличается от M_0 , то для подсчета потокоцеплений статора и электро-магнитного момента нужно пользоваться приведенными выше уравнениями, а не уравнениями Парка, как это было отмечено А. Г. Иосифьяном⁽⁶⁾. Разумеется, при $L_m = M_0$ из приведенных выше уравнений получаются как частный случай известные уравнения Парка.

Московский энергетический институт
им. В. М. Молотова

Поступило
13 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. H. Park, Trans. AIEE, p. I, 48, 716 (1929); p. II, 52, 352 (1933). ² Л. Н. Гуров, Методы математического исследования электрических машин, 1953. ³ С. В. Страхов, Тр. МЭИ, в. 14 (1953). ⁴ С. В. Страхов, Электричество, № 6 (1954). ⁵ А. Г. Иосифьян, Докл. АН АрмССР, 7, 3 (1947). ⁶ А. Г. Иосифьян, Изв. ВЭИ, № 8 (1940).

В. И. ШЕСТАКОВ

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД СИНТЕЗА МНОГОТАКТНЫХ СИСТЕМ r -ПОЗИЦИОННЫХ РЕЛЕ

(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 22 VI 1956)

1. Предложенный ранее векторно-алгебраический метод синтеза многотактных релейных систем ⁽¹⁾ обобщается здесь на случай систем, построенных из r -позиционных реле, где r — натуральное число не меньшее чем

Все ранее введенные определения легко обобщаются и потому будут применяться здесь, как правило, без перефразировки их для случая $r > 2$. Сохраняя прежние обозначения и условия, наложенные на рассматриваемые системы реле, мы можем, как и прежде, изменения состояния автономной системы описывать векторным уравнением

$$y(t + \tau) = f(x(t), y(t)),$$

где f — некоторая однозначная векторная функция векторов x и y , могущих принимать теперь, очевидно, r^m и r^n значений x_α и y_β , соответственно. Эти значения будем нумеровать целыми числами

$$\alpha = \sum_{i=1}^m a_i r^{i-1}, \quad \beta = \sum_{k=1}^n b_k r^{k-1},$$

где a_i и b_k — i -я и k -я компоненты значений x_α и y_β переменных векторов x и y , соответственно.

Если положим $\tau = 1$ (что без ограничения общности можно сделать всегда), заменим непрерывное переменное t (время) натуральным переменным j ($j = 0, 1, 2, \dots$) и образуем из пары векторов x и y один вектор

$$z = [x_1, \dots, x_j, \dots, x_m, y_1, \dots, y_k, \dots, y_n],$$

то вместо (1) получим уравнение:

$$y(j+1) = F(z(j)),$$

где F — некоторая однозначная векторная функция вектора z .

Из однозначности функции F следует, что для синтеза релейной системы (2) пригодны лишь такие полные совокупности ⁽¹⁾ последовательностей $\{z(j)\}$, каждая пара которых $\{z^{(r)}(j)\}$, $\{z^{(s)}(j)\}$ удовлетворяет предельному ⁽¹⁾ условию (β).

2. Условимся называть r -ичными переменными и r -ичными функциями переменные и функции, областью значений которых является множество $\{0, 1, \dots, r-1\}$. r -ичными векторами будем называть векторы, компоненты которых могут принимать значения только из этого множества.

Как показал Вебб ⁽²⁾, всякая однозначная r -ичная функция r -ичными переменными может быть представлена в нормальной форме, являющейся обобщением известного разложения булевых функций (т. е. двоичных

функций двоичных переменных) на конstituенты единицы. Для того чтобы распространить этот результат на векторные функции, введем следующие операции над r -ичными векторами $\mathbf{u} = [u_1, \dots, u_i, \dots, u_m]$, $\mathbf{v} = [v_1, \dots, v_i, \dots, v_m]$:

$$\mathbf{u} \vee \mathbf{v} = [u_1 \vee v_1, \dots, u_i \vee v_i, \dots, u_m \vee v_m],$$

$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = [u_1 \times v_1, \dots, u_i \times v_i, \dots, u_m \times v_m],$$

$$a \times \mathbf{u} = [a \times u_1, \dots, a \times u_i, \dots, a \times u_m],$$

е

$$u_i \vee v_i = \max(u_i, v_i);$$

$$u_i \times v_i = \begin{cases} 0, & \text{если } u_i = 0 \text{ или } v_i = 0, \\ \max(u_i, v_i), & \text{если } u_i \neq 0 \text{ и } v_i \neq 0; \end{cases}$$

— некоторый скаляр.

Используя эти операции, можно всякую однозначную r -ичную функцию $\mathbf{F}(\mathbf{u})$ r -ичного вектора \mathbf{u} представить в виде:

$$\mathbf{F}(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=0}^{r^m-1} \mathbf{F}(\mathbf{u}_\alpha) \times \delta_{\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}}, \quad (3)$$

е

$$\sum_{\alpha=0}^v \mathbf{u}_\alpha = \mathbf{u}_0 \vee \mathbf{u}_1 \vee \dots \vee \mathbf{u}_v;$$

$\delta_{\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}}$ — скалярная функция вектора \mathbf{u} , определяемая условиями:

$$\delta_{\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}} = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathbf{u} = \mathbf{u}_\alpha, \\ 0, & \text{если } \mathbf{u} \neq \mathbf{u}_\alpha. \end{cases}$$

Формула (3) представляет собой нормальную форму векторной r -ичной функции $\mathbf{F}(\mathbf{u})$ и легко может быть получена из формулы 1.35 работы (2), если заметим, что функция $\delta_{\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}}$ через обычные символы Кронекера выражается следующим образом:

$$\delta_{\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}} = \delta_{u_{\alpha, 1}, u_1} \times \delta_{u_{\alpha, 2}, u_2} \times \dots \times \delta_{u_{\alpha, m}, u_m} \quad (4)$$

что символы Кронекера в силу доказанной в (2) теоремы 1.27 совпадают с операциями, определяемыми в той же работе посредством равенства 1.010.

3. Алгоритм отыскания функции \mathbf{F} , удовлетворяющий уравнению (3), — алгоритм синтеза релейной системы, описываемой этим уравнением, можно сформулировать следующим образом: для каждой последовательности $\{\mathbf{z}^{(s)}(j)\}$, входящей в заданную полную совокупность последовательностей, удовлетворяющих условию (3), определяем функцию

$$\mathbf{F}^{(s)}(\mathbf{z}) = \sum_{j=0}^{r^m+n-1} \mathbf{y}^{(s)}(j+1) \times \delta_{\mathbf{z}^{(s)}, \mathbf{z}}, \quad (5)$$

где $\mathbf{y}^{(s)}(j+1)$ — $(j+1)$ -й член последовательности $\{\mathbf{y}^{(s)}(j)\}$.

Искомая функция $\mathbf{F}(\mathbf{z})$, удовлетворяющая уравнению (3), определяется по формуле:

$$\mathbf{F}(\mathbf{z}) = \sum_{s=1}^l \mathbf{F}^{(s)}(\mathbf{z}), \quad (6)$$

где l — число всех последовательностей $\{z^{(s)}(j)\}$ в заданной полной совокупности.

Так как символы Кронекера с векторными индексами, определяемыми условиями (4), совпадают, как уже отмечалось, с функциями, определенными в (2) равенствами 1.010, то, воспользовавшись этим равенством, можно выразить через основные операции алгебры Вебба и даже, если угодно, через одну единственную операцию, являющуюся обобщением функции Шеффера.

Описанный метод позволяет, таким образом, построить функции $F(z) = f(x, y)$ из компонент r -ичных векторов x и y посредством операции алгебры Вебба.

Примечание. Символы Кронекера, определяемые условием (4), представляют собой обобщение конstituентов единицы, и в случае, когда векторы $z_{\gamma j}$ и z являются двоичными векторами, они совпадают с конstituентами единицы. В этом случае операции \vee и \times совпадают, соответственно, с операциями булева сложения и булева умножения, а описанный здесь метод синтеза совпадает с описанным ранее (1) методом.

4. В случае, если заданные последовательности значений $y(j)$ вектора y не удовлетворяют (при заданной последовательности значений $x(j)$ вектора x) условию (β), то не существует однозначной функции F , удовлетворяющей уравнению (2). Однако в ряде случаев заданные последовательности значений $y(j)$ вектора y можно, увеличивая число компонент этого вектора, расширить (3) так, чтобы для расширенной последовательности условие (β) выполнялось. В частности, если значения $y(j)$ вектора y не зависят от членов последовательности значений $x(j)$ вектора x , т. е. если $y(j+1) = f(y(j))$, то отыскание функции f возможно для любой моноциклической последовательности (3) значений $y(j)$ вектора y . При этом расширение первоначально заданной моноциклической последовательности до основной (3) может производиться способом, аналогичным описанному ранее (3) для случая двоичного вектора. А именно, это можно сделать так: выбираем минимальное число N , удовлетворяющее неравенству $r^{N-n} > M$, где M — максимальное число равных друг другу членов среди членов, предшествующих периодической части заданной последовательности, и среди членов первого периода этой последовательности. Затем заменяем каждый член заданной последовательности N -компонентным r -ичным вектором, у которого последние $N-n$ компонент выбраны так, чтобы образованное из этих компонент целое r -ичное число равнялось числу членов первоначально заданной последовательности, равных данному члену этой последовательности.

5. Изложенный здесь метод пригоден для синтеза многотактных релейных систем, реализующих функции $\varphi(j)$, определяемые равенствами

$$\varphi(0) = a, \quad \varphi(j+1) = \chi(\psi(j), \varphi(j)),$$

где a — некоторое заданное число; ψ и χ — некоторые заданные функции, причем значения a, ψ, χ и φ представимы в r -ичной системе исчисления конечным числом цифр.

Для алгебраического описания структуры схем, реализующих функции указанного вида, может быть использована алгебра многозначной логики (алгебра Вебба (3)), одна из возможных физических интерпретаций которой была предложена автором ранее (4).

Следует заметить, что, помимо тех ограничений, которые накладываются на функции $\varphi(j)$ и $\psi(j)$ требование однозначности искомой функции $\chi(\psi, \varphi)$, существуют еще добавочные ограничения, обусловленные конструктивными особенностями тех многопозиционных реле, из которых конструируется синтезируемая релейная схема. Если, например, по заданным техническим условиям для синтеза могут быть использованы только такие много-

ционные реле, у которых переход из одной позиции в другую может исходить лишь в одном определенном порядке (как это имеет место в случае шаговых переключателей, которые могут вращаться только в одном направлении), то это весьма сильно ограничивает совокупность последовательностей $\varphi(j)$ и $\psi(j)$, для которых может быть построена логическая схема, реализующая функцию $\chi(\psi, \varphi)$. Другим весьма сильным ограничением является, например, требование исключения так называемых «условий состязания» между отдельными реле конструируемой релейной системы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
22 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

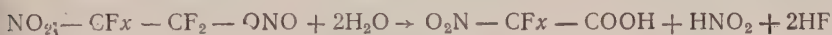
- ¹ В. И. Шестаков, ДАН, **99**, № 6 (1954). ² D. L. Webb, C. R. des séances de l'Académie des Sciences et des Lettres de Varsovie, Cl. III, **29**, 153 (1936—1937). ³ В. И. Шестаков, ДАН, **98**, № 4 (1954). ⁴ В. И. Шестаков, Изв. АН СССР, сер. матем., **529** (1946).

Академик И. Л. КНУНЯНЦ и А. В. ФОКИН

О НИТРОПЕРФТОРАЛКИЛНИТРИТАХ

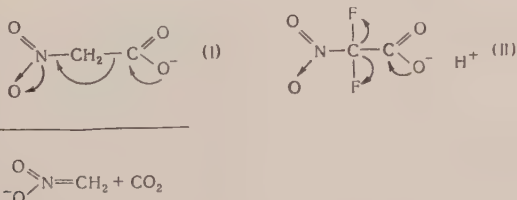
Недавно открытые β-нитроперфторалкилнитриты, легко получающиеся нитрованием фторолефинов окислами азота и представляющие собой новый тип производных фторуглеродов, оказались устойчивыми и чрезвычайно реакционно способными соединениями.

Если обычные нитроалкилнитриты при взаимодействии с водой или спиртом превращаются в нитроспирты, то нитроперфторалкилнитриты при обработке этими же реагентами подвергаются более сложным изменениям, связанным с наличием в молекуле атомов фтора. β-нитроперфторалкилнитриты при гидролизе превращаются в α-нитроперфторкарбоновые кислоты, которые представляют собой более прочные соединения по сравнению с обычными α-нитрокислотами и не декарбоксилируются даже во время перегонки



Известно, что нитроуксусная кислота может быть некоторое время сохранена без изменений лишь в условиях полного отсутствия влаги (под сухим азотом). Водные растворы ее быстро разлагаются с выделением CO_2 и образованием нитрометана. В отличие от нитроуксусной дифторнитроуксусная кислота является более прочным соединением, ее можно перегнать под вакуумом и хранить долгое время. Путем многократной перегонки удается получить безводную нитродифторуксусную кислоту, которая представляет собой прозрачные, расплывающиеся на воздухе бесцветные кристаллы с температурой плавления 37° .

Легкость декарбоксилирования нитроуксусной кислоты является, по-видимому, результатом фиксации протона атомом кислорода нитрогруппы, электронная плотность которого значительно увеличивается благодаря эффекту сопряжения. Это же явление сопряжения, естественно, в гораздо большей степени, проявляется в случае дифторнитроуксусной кислоты благодаря электрооттягивающему эффекту атомов фтора.



При гидролизе β-нитроперфторпропилнитрита и β-нитроперфторизонитрита рассчитанным количеством воды получены соответственно нитроперфторпропионовая и α-нитроперфторизомасляная кислоты. Обе кислоты оказались еще более стабильными соединениями, чем нитродифторуксусная кислота; они так же легко перегоняются при обычном давлении.

Получение α -нитроперфторпропионовой кислоты при гидролизе β -нитроперфторпропилнитрита и α -нитроперфторизомасляной кислоты при гидролизе β -нитроперфторизобутилнитрита явилось доказательством строения нитронитритов и порядка присоединения нитро- и нитритных групп к несимметричным фторолефинам.

При помощи обычной реакции этерификации α -нитроперфторпропионовая кислота была превращена в ряд сложных эфиров. Эти эфиры могут быть омылены с выделением исходной α -нитроперфторпропионовой кислоты.

Сложные эфиры дифторнитроуксусной кислоты легко получают также действием спиртов на ее ангидрид или галогид-ангидриды. Другим важным способом получения сложных эфиров — прямая этерификация — оказался непригодным, так как в присутствии минеральных кислот, служащих катализаторами этерификации, дифторнитроуксусная кислота разлагается. Наиболее удобным способом получения сложных эфиров оказалась непосредственная реакция между β -нитроперфторэтилнитритом и спиртами. На примере этой реакции был показан новый способ получения сложных эфиров перфторнитрокарбоновых кислот, который затем был распространен на другие нитроперфторалкилнитриты. Суммарная реакция может быть выражена следующим уравнением:



Вероятно, нитроперфторэтилнитрит при этом последовательно превращается в нитроперфторэтиловый спирт, фторангидрид и далее в сложный эфир дифторнитроуксусной кислоты. Таким образом были синтезированы метиловый, этиловый, изопропиловый, β -фторэтиловый, циклогексил- и другие эфиры дифторнитроуксусной кислоты и α -нитроперфторпропионовой кислоты, а также некоторые эфиры α -нитроперфторизомасляной кислоты. Полученные эфиры представляют собой прозрачные, бесцветные, легкоподвижные жидкости со специфическим запахом. Их свойства приведены в табл. 1.

Таблица 1

Формула вещества	Т. кип. в °С	d_4^{20}	n_D^{20}	Анализы (в %)			
				вычисл. F	найден F	вычисл. N	найден N
$\text{O}_2\text{NCF}_2\text{—COOH}$	80/32 мм	1,438	1,3670	21,5	22,9	7,9	8,0
$\text{CF}_3\text{—CF(NO}_2\text{)—COOH}$	119	1,638	1,3560	39,2	39,8	7,5	7,5
$(\text{CF}_3)_2\text{C(NO}_2\text{)—COOH}$	151/40 мм	—	—	40,5	42,5	—	—
$\text{CF}_3\text{—CF(NO}_2\text{)CF}_2\text{ONO}_2$	72—73	1,673	1,3130	44,2	43,2	10,8	10,8
$\text{O}_2\text{N—CF—CONH}_2$	154/11 мм	—	—	40	39,5	14,7	14,7
$\text{CF}_3\text{—CF(NO}_2\text{)—COOC}_2\text{H}_5$	т. пл. 118°	—	—	—	—	—	—
$\text{O}_2\text{NCF}_2\text{—COOCH}_3$	117,5	1,412	1,3470	34,6	33,9	6,4	6,4
$\text{O}_2\text{NCF}_2\text{—COCl}$	53/100 мм	1,3790	1,3567	24,5	23,8	9,0	9,0
$(\text{O}_2\text{NCF}_2\text{CO})_2\text{O}$	52	1,5080	1,3581	23,8	24,3	8,8	8,8
$\text{O}_2\text{NCF}_2\text{·CN}$	63/35 мм	1,5820	1,3590	28,8	28,6	—	—
$(\text{CF}_3)_2\text{C(NO}_2\text{)—COOC}_3\text{H}_7\text{—}j$	27	1,4010	1,3229	31,0	28,8	23,0	24,0
$\text{CF}_3\text{CF(NO}_2\text{)COCl}$	134	1,441	1,3362	40,3	40,2	4,9	5,0
$\text{CF}_3\text{CF(NO}_2\text{)CON(C}_2\text{H}_5\text{)}_2$	37	1,6591	1,3502	36,3	37,0	16,9	16,9
$\text{O}_2\text{N(CF}_2\text{)}_4\text{NO}_2$	149	1,368	1,3715	30,9	31,1	11,3	11,3
$\text{H}_2\text{NCOCF}_2\text{NCF}_2\text{CONH}_2$	110/48 мм	1,798	1,3410	51,8	50,4	9,6	8,8
	Т. пл. 250	—	—	40,5	40,4	14,9	14,9

α -Нитроперфторкарбоновые кислоты являются полифторнитрозамещенными карбоновыми кислот; наличие сильноэлектроотрицательных заместителей сильно отражается на свойствах этих веществ.

Определение констант диссоциации по методу измерения электропроводности растворов показало, что дифторнитроуксусная кислота является ее сильной кислотой, чем трифторуксусная:

$$K_{\text{C}} \text{NO}_2\text{CF}_2\text{COOH} = 97\,000 \cdot 10^{-5};$$

$$K_{\text{C}} \text{CF}_3\text{COOH} = 50\,000 \cdot 10^{-5};$$

$$K_{\text{C}} \text{CCl}_3\text{COOH} = 21\,000 \cdot 10^{-5};$$

$$K_{\text{C}} \text{CH}_3\text{COOH} = 1,8 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, замена атома фтора на нитрогруппу почти вдвое увеличивает способность кислоты к ионизации. Константа диссоциации нитрофторпропионовой кислоты $K_{\text{C}} = 1875 \cdot 10^{-5}$.

На примере нитроперфторуксусной кислоты и α -нитроперфторпропионовой кислоты была показана возможность получения различных производных нитроперфторкарбоновых кислот. Так, из нитродифторуксусной кислоты получены ее ангидрид, хлор-, бром- и фторангидриды. При взаимодействии с аммиаком метилового эфира или галоид-ангидридов нитродифторуксусной кислоты получен ее амид, который затем был превращен в нитрил. При взаимодействии нитродифторуксусной кислоты с диазотаном получен соответствующий сложный эфир, а при обработке кислоты тем же аммиаком — ее аммониевая соль. Показано, что хлорангидрид и ангидрид нитродифторуксусной кислоты обладают ацилирующим действием; с анилином и аминами они образуют анилид и амиды. Работа с нитроглицеринами, нитроперфторкарбоновыми кислотами и их производными требует соблюдения предосторожностей.

Попытка получения металлических солей α -нитроперфторкарбоновых кислот показала неустойчивость таковых. Например, серебряная соль нитроперфторпропионовой кислоты разрушается с образованием соли перфторпировиноградной кислоты. Попытка получения нитрила нитрофторпропионовой кислоты приводит к образованию трифторуксусной кислоты.

Как уже упоминалось ранее ⁽¹⁾, при нитровании перфторциклобутена в ряду с 1,2-динитроперфторциклобутаном образуется динитрит перфторциклобутандиола-1,2. Это вещество (с температурой кипения 16°) оказалось чрезвычайно реакционноспособным. При гидролизе оно превращается в перфторянтарную кислоту, при обработке аммиаком — в амид, а при обработке спиртом — в сложные эфиры перфторянтарной кислоты. Последнее происходит, очевидно, за счет окисления выделяющейся азотистой кислотой циклобутанового кольца.

Поступило
5 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. Л. Кнунянц, А. В. Фокин, ДАН, **111**, № 5 (1956). ² N. Levy, W. Skaiïe, J. Chem. Soc., **1946**, 1093. ³ А. И. Титов, Усп. хим., **21**, № 8, (1952). ⁴ А. Неппе, J. Am. Chem. Soc., **76**, 479 (1954).

И. И. КОРНИЛОВ и Л. И. ПРЯХИНА

ЖАРОПРОЧНОСТЬ СПЛАВОВ НЕКОТОРЫХ ДВОЙНЫХ, ТРОЙНЫХ ЧЕТВЕРНЫХ И ПЯТЕРНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ 800°

(Представлено академиком И. П. Бардиным 21 VII 1956)

Исследования ряда частичных диаграмм состояния двойных, тройных, четверных и пятерных никелевых систем показали, что элементы: хром, вольфрам, титан и алюминий образуют с никелем ограниченные двойные, тройные, четверные и пятерные твердые растворы, значительно более высокой концентрации ($1-3\%$), чем такие элементы, как цирконий, бериллий, бор, углерод, азот и др.

Центробежный метод испытания сплавов на жаропрочность (^{4,5}) позволил сравнительно быстро провести многочисленные исследования, устанавливающие закономерности изменения жаропрочности сплавов в зависимости от состава и фазового строения металлических систем. Было установлено, что вышеуказанные элементы упрочняют никель за счет образования ограниченных твердых растворов значительной концентрации. Максимальное упрочнение достигается в области предельно-насыщенных и пересыщенных твердых растворов.

Сплавы никеля с алюминием, титаном, вольфрамом и хромом, представляющие предельно-насыщенные и пересыщенные твердые растворы при определенных условиях подвергаются дополнительному упрочнению за счет образования и выделения из твердых растворов металлических соединений (Ni_3Al , Ni_3Ti и Ni_4W) в мелкодисперсном состоянии. Выделение избыточной, второй фазы в сплавах в виде коагулированных, обособленных частичек вызывает снижение жаропрочности сплавов.

Чем сложнее химический состав твердого раствора, тем больше возрастает прочность химической связи между разноименными атомами в нем, тем медленнее идут процессы коагуляции избыточной фазы и разрушения сплава при высоких температурах. Скорость коагуляции зависит от степени пересыщения твердого раствора, от различия в химическом составе твердого раствора и второй фазы, так как это определяет число необходимых атомных перемещений для образования и роста кристаллов второй фазы.

Уменьшение скорости коагуляции избыточной фазы является одним из основных факторов, обуславливающих многократно экспериментально подтвержденную закономерность — повышения жаропрочности при увеличении числа ограниченно-растворимых элементов, составляющих сплав.

Нами проведено систематическое исследование жаропрочности сплавов:

- а) двойной системы $\text{Ni} - \text{Ti}$ с содержанием Ti от 0 до 14%;
- б) тройной системы $\text{Ni} - \text{Cr} - \text{Ti}$ при постоянном содержании Cr 10 и 20% и с переменным содержанием Ti от 0 до 15% (²);
- в) четверной системы $\text{Ni} - \text{Cr} - \text{Al} - \text{Nb}$ с постоянным содержанием Cr 10 и 15%, Al 6% и переменным содержанием Nb от 0 до 12,5% (³);
- г) пятерной системы $\text{Ni} - \text{Cr} - \text{W} - \text{Ti} - \text{Al}$ с постоянным содержанием Cr 20% и с переменным содержанием Al от 0 до 12% (⁶).

Составы этих сплавов охватывают как твердые растворы, так и сплавы, обогащенные с ними составы с выделением избыточной фазы. Жаропрочность

сплавов этих систем изучалась центробежным методом при 800° и разных напряжениях от 5 до 40 кГ/мм^2 .

В результате этих исследований установлено, что во всех случаях максимальное упрочнение достигается в переходной области от однородного твердого раствора к сплавам с гетерогенной структурой. Максимальное упрочнение пятерных никелевых твердых растворов значительно выше максимального упрочнения четверных, четверных — больше тройных, тройных — больше чем двойных. И, наконец, последние более жаропрочны, чем чистый никель.

Абсолютные величины максимумов жаропрочности сплавов на изотермических диаграммах состав — жаропрочность двойных, тройных и более сложных никелевых систем показывают ступенчатое повышение по мере увеличения числа элементов, входящих в состав твердых растворов.

Экспериментальные данные по установлению максимальной жаропрочности сплавов для ряда двойных, тройных, четверных и пятерных систем при 800° позволяют представить их в виде сводных диаграмм, показывающих ступенчатое повышение предела прочности сплавов в зависимости от состава по мере увеличения числа компонентов в никелевых системах.

На рис. 1 приведены экспериментальные данные изменения жаропрочности сплавов систем: Ni — Ti, Ni — Cr — Ti, Ni — Cr — Ti — W и Ni — Cr — Ti — W — Ti — Al в зависимости от содержания одного из элементов при сохранении постоянства концентрации других элементов (за счет содержания никеля).

Составы сплавов двойной системы Ni — Ti с содержанием Ti 8—10,8%, имеющие максимальной жаропрочности при 800° , выдерживают испытание в течение 500 час. без разрушения при напряжении не выше 5 кГ/мм^2 . В сплавах тройной системы Ni — Cr — Ti (разрез с 10% Cr) вследствие снижения предельной растворимости титана оптимальное его содержание составляет 6—7,5% Ti (против 8—10% в двойной системе). Эти составы сплавов при 800° не разрушаются в течение 425 час. при напряжении высоком, а именно: $6,4\text{—}10 \text{ кГ/мм}^2$ ⁽²⁾.

По данным И. И. Корнилова и Н. В. Вьяля, исследовавших жаропрочность сплавов системы Ni — Cr — Ti — W с переменным содержанием вольфрама при 800° , образцы не разрушаются в течение 100 час. при напряжении 15 кГ/мм^2 (при содержании 6% W).

Исследованные нами сплавы четверной системы Ni — Cr — Al — Nb ⁽³⁾ с содержанием Cr 10—15%, Al 6% и Nb от 2,5 до 5,0% также показывают более высокую жаропрочность по сравнению со сплавами тройной системы. При 800° и напряжении 24 кГ/мм^2 оптимальные составы сплавов четверной системы с содержанием Nb 2,5—5% не разрушаются в течение 426 час. ⁽³⁾.

Наибольшей жаропрочностью обладают оптимальные составы пятерной системы Ni — Cr — W — Ti — Al при содержании Cr 20% и Al 4—6%,

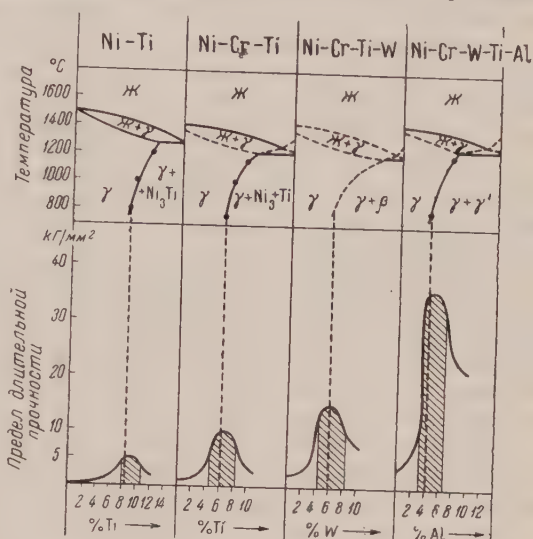


Рис. 1. Повышение предела длительной прочности (не менее 100 час. до разрушения) в ограниченных твердых растворах никеля при 800°

которые при 800° не разрушаются за 100 и более часов при напряжении 35—40 кГ/мм².

Как видно из рис. 1, предельное напряжение, при котором оптимальные составы сплавов не разрушаются и лишь деформируются с небольшой скоростью, составляет для двойной системы Ni — Ti не более 5 кГ/мм² (для системы Ni — Cr оно равно 3,5 кГ/мм² ⁽¹⁾). Для сплавов тройной системы Ni — Cr — Ti это предельное напряжение повышается до 6,4—10 кГ/мм² для четверной — до 15 кГ/мм² и выше.

Наибольшее напряжение выдерживают составы сплавов пятерной системы Ni — Cr — W — Ti — Al, отвечающие переходной области твердых растворов к гетерогенным. Для оптимальных составов сплавов этой системы предел длительной прочности возрастает до 35—40 кГ/мм².

Как видно из приведенных данных, жаропрочность пятерных сплавов при одной и той же температуре (800°) почти в 8—10 раз больше, чем двойных, в 3—5 раз больше, чем тройных, и в 2 раза больше, чем четверных никелевых сплавов.

Таким образом, по мере усложнения химического состава основы сплавов твердого раствора выявляется особая роль повышения прочности химической связи между разноименными атомами в твердом растворе никеля и упрочнение его в условиях предельного насыщения и мелкодисперсного распада. Указанные факторы замедляют процесс структурного разупрочнения сплавов и придают им высокую жаропрочность.

Высокая степень упрочнения сложных твердых растворов предельного насыщения и пересыщения будет сохраняться в той мере, в какой их мелкодисперсный распад будет сохранять это упрочненное состояние в первоначальной стадии распада и будет его разупрочнять по мере коагуляции выделившейся избыточной фазы. Разупрочнение в результате укрупнения и обособления избыточной фазы можно объяснить тем, что первоначальная концентрация высокожаропрочного твердого раствора при этом уменьшается за счет выделения и обособления избыточной фазы. Уменьшение концентрации элементов происходит прежде всего по границам зерна, где главным образом сосредоточиваются включения избыточной фазы. При таких условиях создаются большие возможности для межзеренных и других видов ползучести сплавов, что, несомненно, приводит к снижению жаропрочности.

Это и наблюдается в ряде случаев, проверенных в экспериментальных исследованиях и практикой эксплуатации жаропрочных сплавов.

Поступило
21 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Корнилов, Л. И. Пряхина, Т. Ф. Чуйко, Изв. Сект. физ.-хим. анализа, **19**, 437 (1949). ² И. И. Корнилов, Л. И. Пряхина, Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 103 (1956). ³ И. И. Корнилов, Л. И. Пряхина, Исследования по жаропрочным сплавам, Изд. АН СССР, 1956, стр. 138. ⁴ И. И. Корнилов, Изв. Сект. физ.-хим. анализа, **18**, 72 (1948). ⁵ И. И. Корнилов, Зав. лаб., № 76 (1949). ⁶ И. И. Корнилов, Л. И. Пряхина, О. В. Ожимков, Изв. АН СССР, ОХН, № 8 (1956).

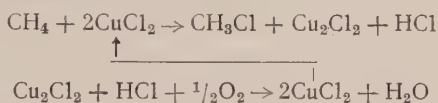
Б. А. КРЕНЦЕЛЬ, академик А. В. ТОПЧИЕВ и Л. Н. АНДРЕЕВ

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ХЛОРИРОВАНИЕ МЕТАНА

В литературе последних лет обращалось внимание на возможность осуществления в определенных условиях реакции окислительного хлорирования метана (¹⁻²). Принципиальная сущность такого процесса заключается в совмещении двух реакций: хлорирования углеводорода и окисления получающегося (или взятого в качестве исходного хлорирующего агента) хлористого водорода. В общем виде уравнение реакций можно представить следующим образом:



В качестве катализатора для этой реакции предлагались хлорная медь, нанесенная на пористые носители, или же эвтектический расплав хлоридов меди и других солей. По другим литературным данным хлорирование метана в присутствии расплавленной хлорной меди происходит в соответствии со следующим уравнением:



При проведении этого процесса тепловой эффект реакции хлорирования метана должен компенсироваться эндотермичностью реакции регенерации хлорной меди, вследствие чего возможно более легкое и мягкое регулирование теплового режима хлорирования. В качестве переносчиков тепла используется чистая хлорная медь или эвтектические смеси солей, например $Cu_2Cl_2 + KCl + CuCl_2$. Применение расплавов солей, хотя и уменьшает теплоотвод, но создает некоторые дополнительные затруднения, связанные, в частности, с необходимостью циркуляции в реакционной системе расплава при высокой температуре.

В связи с этим основные опыты по окислительному хлорированию метана мы проводили на гетерогенном катализаторе в качестве которого использовалась двуххлористая медь, отложенная на пемзе.

Экспериментальная часть

Опыты проводились в проточной установке (рис. 1). Для упрощения на рисунке опущены осушители (склянка Тищенко с конц. H_2SO_4 и U-образная трубка с прокаленным хлористым кальцием) на линиях хлористого водорода, хлора и воздуха. Работа установки понятна из схемы; укажем лишь, что реакционная трубка (Е) $d=25$ мм была выполнена из молибденового стекла и вмещала 75 мл катализатора.

Первоначально на этой установке было исследовано каталитическое окисление хлористого водорода (в отсутствие метана), как важнейшая стадия окислительного хлорирования метана. Катализатором для опытов окисления хлористого водорода, как и в последующих опытах собственно окислительного хлорирования, служила специально обработанная пемза, пропитанная хлорной медью. Количество CuCl_2 , отложенной на пемзе, изменялось в первых опытах от 5 до 20% веса пемзы. Однако оказалось, что активный катализатор образуется уже при 5% содержания CuCl_2 в нем.

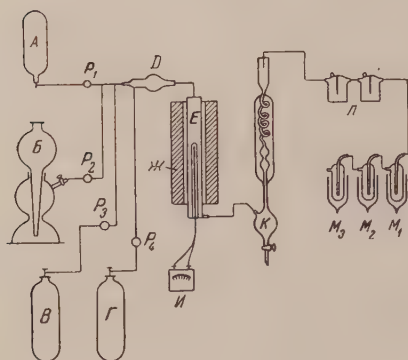


Рис. 1. Схема установки: А — баллон хлора, Б — аппарат Киппа (для HCl), В — баллон воздуха, Г — баллон метана, Д — смеситель, Е — реакционная трубка, Ж — печь, И — гальванометр, термопара, К — обратный холодильник с приемником, Л — склянки Тищенко с KJ , M_1 , M_2 , M_3 — ловушки для хлорпроизводных, P_1 , P_2 , P_3 , P_4 — реометры, соответственно для Cl_2 , HCl , воздуха и CH_4

Соотношение между реагирующими газами устанавливалось с помощью реометров. Глубина конверсии хлористого водорода в хлор (и степени хлорирования метана при опытах окислительного хлорирования) устанавливалась титрованием раствора KJ , залитого в склянки Тищенко, как это показано на схеме (см. рис. 1).

Окисление хлористого водорода в хлор. При изучении окисления хлористого водорода определяли влияние на глубину реакции температуры и длительности работы катализатора. Полученные экспериментальные данные графически представлены на рис. 2. Изменении объемной скорости с 82 до 215 час⁻¹

приводило к изменению глубины окисления HCl с 98 до 86%. С течением времени активность катализатора несколько снижается, что объясняется вымыванием хлорной меди газовым потоком с поверхности носителя — пемзы.

Окислительное хлорирование метана. Процесс изучался в двух вариантах: 1) хлорирование метана смесью хлористого водорода и воздуха и 2) хлорирование метана смесью хлора и воздуха. В этих опытах, помимо определения степени хлорирования метана, определялось также количество сгорающего метана, исходя из разности количеств HCl за реактором в сравнимых условиях в отсутствие и присутствии метана. Для упрощения расчета в первом приближении считалось, что разложения получаемых хлорпроизводных не происходит, а сгорание метана происходит по уравнению: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. В некоторых опытах определенное таким образом количество сгоревшего метана проверялось по количеству уловленной воды. При этом учитывалось, что в процессе окисления хлористого водорода образуется один моль воды на каждые два моля окисленного хлористого водорода, а при окислении метана — два моля воды на один моль сгоревшего метана.

Окислительное хлорирование метана смесью хлористого водорода и воздуха. Результаты всех тре

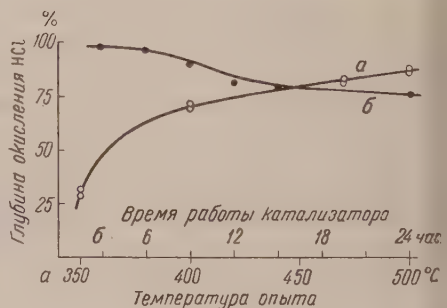


Рис. 2. Окисление хлористого водорода воздухом; а — влияние температуры опыта, б — изменение активности катализатора

ий опытов, проведенных нами на смеси метан — хлористый водород — воздух, сведены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, реакция хлорирования метана становится заметной при температуре 350—360°. При этих температурах уже идет окисление хлористого водорода и в реакционной смеси появляется хлор. С дальнейшим увеличением степени хлорирования метана быстро возрастает и при 420—430° проходит через максимум, явно прослеживающийся во всех трех сериях опытов. Наличие этого максимума объясняется тем, что параллельно с увеличением количества хлорирующего метана с повышением температуры растет доля метана, окисляющегося до CO_2 и H_2O и, кроме того, происходит, по-видимому, некоторое разложение образующихся продуктов хлорирования.

Сгорание заметной доли метана наблюдается при температуре выше 400° и в значительной мере зависит от отношения углерод : хлорирующая смесь (HCl и воздух). Максимальное количество сгоревшего метана отмечалось нами при температурах 470—500° в соотношении $\text{CH}_4 : \text{HCl} : \text{воздух} = 1 : 4 : 10$.

Разложения продуктов хлорирования до углерода в наших опытах не наблюдалось, и при выгрузке работанного катализатора из реакционной трубки поверхность катализатора кокса не было.

Окислительное хлорирование метана смесью хлора и воздуха. По этому варианту нами были проведены две серии опытов при различном составе реакционной смеси. Воздух брался в количестве, необходимом для полного окисления хлористого водорода, разлагающегося при хлорировании метана. Результаты обеих серий опытов, представленные в табл. 2.

Как видно из экспериментальных данных, хлорирование метана смесью хлора и воздуха начинается при температуре 350° и при 420—440° проходит через максимум, как и в случае хлорирования метана смесью хлористого водорода и воздуха.

Таким образом, не наблюдается существенных отличий в протекании реакции окислительного хлорирования метана в случае применения в качестве хлорирующего средства смеси хлора и воздуха вместо хлористого водорода и воздуха. Максимальная доля хлорированного метана составляет 50—60%.

В оптимальных температурных условиях окислительного хлорирования метана смесью хлора и воздуха ($\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{воздух} = 1 : 2 : 5$) был проведен специальный опыт по накоплению продукта хлорирования и его исследованию. В собранном продукте после его отмывки, нейтрализации и сушки были определены содержание хлора, молекулярный вес, удельный

Таблица 1
Хлорирование метана смесью HCl + воздух
(в объемн. %)

Исходная смесь			Темп., °C	Конверсия хлористого водорода	Использование хлора (в % от теории)	Метан (в % от исходного)	
метан	хлористый водород	воздух				прохлорированн.	сгоревший
Отношение CH ₄ : HCl : воздух = 1 : 1 : 2,5							
22,2	22,2	55,6	360	30	81	11	5
			400	70	92	42	7
			470	83	95	30	14
			500	87	98	31	16
Отношение CH ₄ : HCl : воздух = 1 : 2 : 5							
12,5	25,0	62,5	360	30	80	0	7
			400	70	85	19	13 (?)
			430	78	90	50	7
			470	83	92	44	10
			500	87	95	43	11
Отношение CH ₄ : HCl : воздух = 1 : 4 : 10							
6,7	26,7	66,6	360	30	78	10	10
			400	70	80	15	13
			430	78	90	60	21
			470	83	93	55	30
			500	87	96	50	40

вес и коэффициент рефракции. В табл. 3 приведены полученные данные, которые сравнены с соответствующими физико-химическими характери-

Таблица 2
Хлорирование метана смесью хлора и воздуха
(в объемн. %)

Исходная смесь			темп., °C	Конверсия хлористого водорода	Использование хлора (в % от теории)	Метан (в % от исходного)	
метан	хлор	воздух				прохлорированн.	сгоревший

Отношение $\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{воздух} \approx 1 : 1 : 26$

22,2	22,2	55,6	360	30	52,0	13	8
			400	70	72,2	18	14
			430	78	80,2	48	17
			470	83	84,2	42	20
			500	87	83,9	50	21

Отношение $\text{CH}_4 : \text{Cl}_2 : \text{воздух} = 1 : 2 : 5$

12,5	25,0	62,5	360	30	50,7	15	12
			400	70	68,0	20	15
			430	78	80,2	66	22
			470	83	85,1	54	28
			500	87	90,3	56	41

стиками для CCl_4 . Среднее число атомов хлора в продукте реакции составляло 3,6. Исходя из этого, мы по методу, описанному в литературе ⁽²⁾ вычислили содержание CCl_4 в продукте, которое оказалось равным $\sim 65\%$.

Таблица 3
Свойства продукта хлорирования в сравнении со свойствами четыреххлористого углерода

Вещество	Молекулярный вес	Содерж. хлора в %	d_4^{20}	n_D^{20}
Четыреххлористый углерод	153,8	92,2	1,5940	1,4602
Продукт хлорирования	140,2	88,5	1,5690	1,4582

Следовательно, окислительное хлорирование метана дает возможность получать значительные выходы четыреххлористого углерода.

Поступило
20 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Gorin, C. M. Fontana, C. A. Kidder. Ind. and Eng. Chem., **40**, 212 (1948). ² E. F. Thode, H. P. Meissner, Ind. and Eng. Chem., **43**, 129 (1951).

А. И. ОКУНЕВ и В. С. БОВЫКИН

АКТИВНОСТЬ ОКСИДИ ЦИНКА В СВИНЦОВО- И МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКАХ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ФЬЮМИНГОВАНИЮ

(Представлено академиком С. И. Вольфовичем 22 VI 1956)

При экспериментальном изучении фьюмингования шлаков медной плавки было установлено, что в процессе фьюмингования при взаимодействии жидкость — газ достигается состояние, близкое к равновесному. Из экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты активности оксидов цинка в шлаке. Для шлаков состава (в %): SiO_2 22—26; Al_2O_3 5—7; CaO и MgO до 1,0—1,5; FeO до 5—6 (остальное) он оказался равным 0,95—0,97.

В целях упрощения при всех последующих расчетах коэффициент активности оксидов цинка принимался равным единице. Расхождения расчетных данных с результатами наблюдений для шлаков, содержащих менее 10% цинка, составляли 5—10%. Несомненно, однако, что как для шлаков, содержащих относительно малые количества цинка, так и, особенно для шлаков, содержащих свыше 10% цинка, учет коэффициента активности оксидов цинка в шлаках полезен.

В настоящей работе выполнены определения активности оксидов цинка в шлаках свинцовой плавки состава (в %): Zn 16,9; Pb 3,6; SiO_2 19,3; CaO 7,4; MgO 6,3; Al_2O_3 5,1; S 1,5; FeO 39,4. Для расчетов приняты следующие исходные данные: расход воздуха 450 м³/мин; расход угля 90 кг/мин; садка шлака 55 т; температура процесса 1150° в начале и 1225° в конце процесса. Состав угля (в %): твердого углерода 61,3; летучих 20,9; золы 17,7; водорода около 4—5 (стальные составляющие в целях упрощения не учитывались). Скорости отгонки цинка определялись через каждые 20 мин. по кривой рис. 1 (1).

Для расчета величины активности оксидов цинка в шлаке нужно рассмотреть взаимодействия: ZnO (шлак) + CO (газ) = Zn (газ) + CO_2 (газ) (а), ZnO (шлак) + H_2 (газ) = Zn (газ) + H_2O (газ) (б), а также реакцию: $\text{ZnO} + \text{CO} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ (в).

Из указанных трех реакций независимыми являются любые две. Следовательно, для расчета a_{ZnO} необходимо еще одно уравнение. Оно находится обычно путем составления материального баланса по одному из участвующих веществ (в нашем случае — по кислороду).

Используем, как наиболее изученные, реакции (а) и (в). Константа равновесия реакции (а) выражается следующим уравнением, показывающим удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными (2):

$$\lg K_{(a)} = -\frac{9680}{T} + 6,12. \quad (1)$$

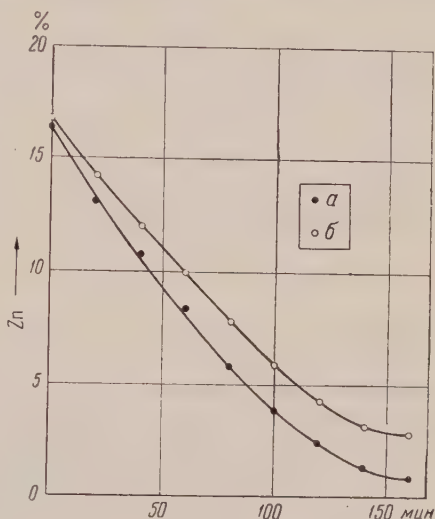


Рис. 1. Кинетика отгонки цинка из шлака: а — воздух, б — воздух — кислород (содержание O_2 в дутье 24,8%)

Хорошее совпадение с экспериментальными данными ⁽³⁾ показывает так-
 следующее уравнение, выражающее зависимость константы урав-
 ния реакции (в) от температу-
 ры:

Т а б л и ц а 1

Изменение активности окиси цинка по мере про-
 дувки шлака

Время (в мин.)	Содержание цинка (в %)	Активность окиси цинка	Коэффициент активности окиси цинка
0—20	16,8—14,3	0,141	0,88
20—40	14,3—12,1	0,122	0,91
40—60	12,1—10,0	0,103—0,108	0,90—0,94
60—80	10,0—7,9	0,093	0,95
80—100	7,9—6,0	0,078	1,0
100—120	6,0—4,3	0,055	1,0
120—140	4,3—3,3	0,0385	0,97

$$\lg K_{(b)} = \frac{1734}{T} = 1,583.$$

Обозначим через c , b , k , и y соответственно, число молекул углерода, водорода, кислорода и азота в угле.

Газовая смесь, покидающая шлак, состоит в основном из следующих компонентов: Zn , N_2 , H_2 , H_2O , CO , CO_2 . Количества их при равновесии будут равны: $[Zn] =$

$$[N_2] = a; [H_2] = x; [H_2O] = b - x; [CO] = y; [CO_2] = c - y, \text{ или в сумме}$$

$$M = c + b + z + a.$$

Из процессов (а) и (в) имеем:

$$a_{ZnO} = \frac{(c - y)z}{K_{(a)} \cdot y(c + b + z + a)}; \quad (3)$$

$$K_{(b)} = \frac{(c - y)x}{y(b - x)}. \quad (4)$$

Баланс по кислороду дает:

$$x + y + z = 2(c - k) + b. \quad (5)$$

Значения z рассчитывались по кривым рис. 1. Остальные неизвестные и значения a_{ZnO} находились при совместном решении уравнений (3)—(4).

Результаты расчета фьюмингования на воздушном дутье, сведенные в табл. 1, показывают, что в случае свинцовых шлаков при содержании цинка в шлаке менее 8% коэффициент активности окиси цинка близок к единице (0,95—0,97), а при содержании цинка 15% снижается до 0,88—0,90.

На рис. 2 для удобства расчетов дана кривая зависимости активности окиси цинка от содержания цинка в шлаке. Обращает на себя внимание совпадение указанных зависимостей для шлаков свинцовой и медной плавки приведенных выше составов.

Авторы выражают искреннюю благодарность акад. С. И. Вольфсоничу за просмотр рукописи и ценные замечания.

Уральский научно-исследовательский
и проектный институт медной промышленности

Поступило
22 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. R. McNaughton, T. H. Weldon et al., J. Metals, **1**, 446 (1949)
² E. S. Truesdale, R. K. Waring, J. Am. Chem. Soc., **63**, 1610 (1941); C. W. Maier, O. C. Ralston, J. Am. Chem. Soc., **48**, 364 (1926); цит. по E. S. Truesdale, R. K. Waring, Met. Technol., **8**, № 13, Т. P. 1295 (1941); M. Bodenstein Zs. Elektrochem., **8**, № 3, 46, 132 (1940). ³ О. А. Есин, П. В. Гельд, Физическая химия пирометаллургических процессов, ч. I, 1950.

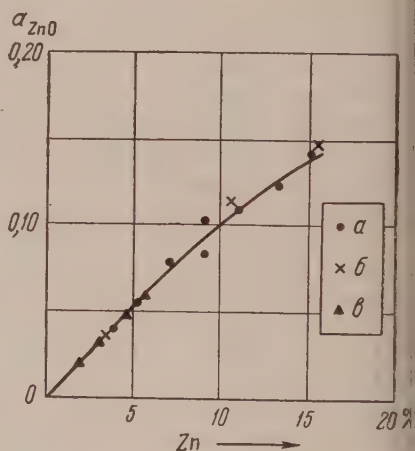
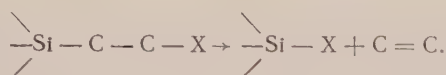


Рис. 2. Активность окиси цинка в шлаке по мере отгонки цинка: а — шлак свинцовой плавки, воздух; б — то же при содержании O_2 в дутье 24,8%; в — шлак медной плавки

Член-корреспондент АН СССР А. Д. ПЕТРОВ, В. А. ПОНОМАРЕНКО
и А. Д. СНЕГОВА

ИНТЕЗ И СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ β-СПИРТОВ (β-ГИДРОКСИАЛКИЛТРИМЕТИЛСИЛАНОВ)

Кремнийорганические спирты с β-положением гидроксильной группы изучены мало (^{2,7}). Под влиянием известных работ по β-распаду (^{1,2}) создалось несколько преувеличенное представление об исключительной нестойкости кремнийорганических соединений типа $\text{>Si}-\text{C}-\text{C}-\text{X}$ ($\text{X} = \text{Cl}$, OH и другие электроотрицательные атомы и группы), в том числе и гидроксилалкилсиланов, приводящей при действии на них электрофильными и нуклеофильными реагентами к β-распаду по схеме



Так, при нагревании $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ с несколькими каплями 10%-ной серной кислоты Уитмор, Соммер, Гольд и ван-Стрин (²) наблюдали ричный β-распад с выделением пропилена. Накопившиеся к настоящему времени данные по реакциям β-галоидсиланов (дегидрохлорирование (³), действие гриньяровых реагентов (⁴), прямой синтез (⁵), реакция Фриделя — Crafts (⁶)) показывают, что в общем правильные представления об их стойкости нуждаются в серьезных дополнениях, а иногда и исправлениях.

В ряде предыдущих работ нами было показано, что существенно влияют на реакционную способность β-галоидсиланов электроотрицательные группы, стоящие у Si. В связи с этим было обращено внимание на роль стабилизирующего влияния хлорсилильных групп (⁸).

Таким образом, сам собой возник вопрос о более детальном изучении свойств и β-гидроксилалкилсиланов: их способности не только к β-распаду, но и дегидратации, влиянии соседних атомов и групп на поведение стоящих в β-положении к Si гидроксильной группы, термической стойкости спиртов и т. п. Цель данной работы заключалась в том, чтобы сделать первый шаг в этом направлении.

Нами из $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{MgCl}$ и ряда карбонильных соединений — метилкетона, этилформиата, хлораля и бензила — были получены β-спирты, свойства которых представлены в табл. 1.

Анализ продуктов реакции $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{MgCl}$ с указанными карбонильными соединениями позволяет заметить образование не только желаемых спиртов, но и продуктов дегидратации спиртов и продуктов β-распада. Так, при получении и очистке $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{C}_2\text{H}_5)$ (I) удалось вы-



делить в значительном количестве алкенилсилан строения $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{C}=\text{CH}_2$ (Б).

$=\text{CH}-\text{CH}_3$ (А), в котором по данным спектров комбинационного рассеяния в очень небольшом количестве присутствует и другой изомерный ему продукт дегидратации $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{C}=\text{CH}_2$ (Б). Дегидратация спирта I протекает по схеме



кала, очевидно, как при разложении реакционной смеси водой и сульфатом

Таблица 3

№ п.п.	Формула спирта	Выход в %	Т. кип. в °С	Давл. в мм рт. ст.	d_4^{20}	n_D^{20}	MR	
							найд.	выч.
I	$(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{C}_2\text{H}_5)$	1,9	52	33	0,8451	1,4410	50,10	50,10
II	$(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{CHOH}$	7,9	74,5	7	1,4401	0,8369	64,36	64,36
III	$(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{COCl}$	17,0	87—88	9	1,1730*	1,4700**	56,04	56,04
IV	$(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2-\text{C}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$	69,5	Т. пл. 92—93°	—	—	—	—	—

* d_4^{40} ** n_D^{40}

эфирного раствора над Na_2SO_4 , так и при отгонке эфира на колонке и перегонке под вакуумом. Вследствие дегидратации выход β -спирта оказался очень низким. Следует обратить внимание на порядок отщепления элементов воды: хотя он и подчиняется правилу Зайцева, но преимущественно образуется (А) при отсутствии $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}=\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{CH}_3$ (Б). В очень небольшом количестве (Б) говорит о том, что, по-видимому, γ -метиленовой группы $\text{C}-\text{H}$ связи являются наименее прочными. Факт дегидратации β -спирта I, таким образом, вносит новое существенное дополнение в схему Уитмора.

При получении и выделении спиртов II и III наблюдалось образование небольших количеств продуктов β -распада: $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ у II и $(\text{CH}_3)_3\text{SiOH}$ у III. У спирта IV продуктов распада и дегидратации выделено не было. Вместе с тем и выход самих спиртов III, так и, особенно, II, оказался более высоким, чем спиртов I и II. Вполне вероятно, что в условиях реакции Гриньяра и выделения из смеси продуктов реакции оказываются более стойкими как к β -распаду, так и к дегидратации. Таким образом, необходимо допустить, что природа радикалов, стоящих рядом с β -гидроксильной группой, может существенно влиять на ее реакционную способность.

Заслуживает внимания и отношение полученных β -спиртов к нагреванию, которое проводилось в приборе Сиволобова⁽⁹⁾ для определения температуры кипения небольших количеств вещества. При нагревании спиртов I, II и III до кипения не наблюдалось их разложения. Спирт IV при нагревании до 230° превратился, не разлагаясь, в вязкое вещество, которое через некоторое время вновь закристаллизовалось. Продукт нагревания кетоспирта плавился в широком интервале, близком к температуре плавления исходного кетоспирта.

Данные об отношении спиртов I—III к нагреванию приведены в табл. 3.

Триметилсилилметил-(метил)-(этил)карбинол (I) с метилмагнийхлоридом Гриньярову реагенту, полученному из 60 г $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{Cl}$ и 12 г магния

эфире, прибавлялись 35 г метилэтилкетона. Наблюдалось разогревание реакционной смеси с выпадением осадка. После 4 час. нагревания и стояния реакционная смесь разлагалась водой. Эфирный слой сушился над H_2SO_4 , эфир отгонялся. Получено 42 г смеси продуктов реакции. 28 г

Таблица 2

Исп.	Т. кип. в °С	Давление в мм рт. ст.	n_D^{20} до нагрева	n_D^{20} после нагрева	Продолжит. нагрева в мин.	Примечания
I	~169—171	754	1,4372	1,4382	30	Бесцв. до и после нагрева
II	~206—210	753	1,4392	1,4392	60	—
III	~213—217	754	1,4740*	1,4735*	60	После нагрева слегка желтеет

* При 30°.

ой смеси после дополнительной сушки над Na_2SO_4 разгонялись под вакуумом. Были выделены:

1. Фракция с т. кип. 18—24° (50 мм), n_D^{20} 1,3912, — очевидно, смесь продуктов β -распада: $(\text{CH}_3)_3\text{SiOH}$ и т. п.
2. 10 г $(\text{CH}_3)_3\text{SiC}_5\text{H}_9$, т. кип. 57° (49 мм), d_4^{20} 0,7620, n_D^{20} 1,4320. Найено MR 48,43, вычислено MR 48,33.

Найдено %: С 67,46; 67,37; Н 12,65; 12,70; Si 19,55; 19,42
 $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{Si}$. Вычислено %: С 67,53; Н 12,75; Si 19,72

При атмосферном давлении вещество имеет т. кип. 134° (747,5 мм). В спектре комбинационного рассеяния света $(\text{CH}_3)_3\text{SiC}_5\text{H}_9$ * обнаружены следующие частоты (в см^{-1}): 164(4ш), 191(4ш), 242(4ш), 299(1), 396(3ш), 5(4), 606(8), 659(1), 692(4), 790(1), 862(3ш), 957(2), 1045(2), 1144(3), 1165(4), 17(3), 1250(3), 1339(4), 1382(3), 1417(4), 1450(4ш), 1640(1), 1665(7), 67(4), 2900(10ш), 2920(3), 2961(8), 3076(1).

В области кратных связей имеется две частоты: одна — основная 65 см^{-1} и вторая — очень слабая 1640 см^{-1} . В результате дегидратации спирта могло образоваться три алкенилсилана: А, Б и В.

Частота 1665 см^{-1} , наряду с частотами 1165 см^{-1} и 1382 см^{-1} , указывает то, что алкенилсилан имеет строение А, так как все эти частоты характерны для двойной связи, находящейся в β -положении к Si (10) и имеющей конце метильную группу (11). Частота 1640 см^{-1} и слабая линия 76 см^{-1} указывают на примесь соединения Б с группой $=\text{CH}_2$, на кон-, характеризующейся, как известно, частотой 1638 см^{-1} . Образование В спектрально отвергается отсутствием линий в области 1590—1620 см^{-1} , характерных для двойной связи в винилсиланах (12).

Из 14 г оставшейся смеси продуктов реакции при разгонке в более глубоком вакууме удалось выделить 1,5 г (1,9%) спирта I.

Найдено %: Н 12,35; 12,44; С 60,19; 60,21; Si 17,41; 17,38
 $\text{C}_8\text{H}_{20}\text{OSi}$. Вычислено %: Н 12,58; С 59,94; Si 17,50

Бис-(триметилсилилметил)-карбинол (II). К гриньову реагенту, полученному из 75 г $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{Cl}$ и 14,7 г Mg в 225 мл абсолютного эфира было прибавлено по каплям 18,5 г этилформиата. После проведения обычных операций (нагревание в течение 3 час., разложение водой, экстракция водного слоя эфиром, сушка эфирного раствора продук- реакции Na_2SO_4) было получено 25,3 г смеси продуктов реакции, из

* Оптический анализ проводился Ю. П. Егоровым, которому мы выражаем благодарность.

которых после трех разгонок под вакуумом получено 5 г (7,9%) чистого спирта II.

Найдено %: Н 11,67; 11,88; С 52,75; 52,86; Si 27,70; 27,82
C₉H₂₄OSi₂. Вычислено %: Н 11,83; С 52,88; Si 27,46

В легколетучей части продуктов реакции, собранной в ловушке (— 70° при разгонке на колонке с достоверностью удалось установить наличие триметилаллилсилана (1,3 г), т. кип. 83—85° (743,7 мм d_4^{20} 0,7216, n_D^{20} 1,4030. Литературные данные (¹³): т. кип. 84,9° (737 мм d_4^{20} 0,7193, n_D^{20} 1,4074.

Триметилсилилметил-трихлорметил-карбинол (III). К (CH₃)₃SiCH₂MgCl, полученному из 92 г (CH₃)₃SiCH₂Cl и 18,1 г Mg в 300 мл эфира, было прибавлено по каплям при перемешивании 110,8 г хлораля. После операций, аналогичных описанным выше, и четырех разгонок под вакуумом получено 30 г (17%) спирта III, плавившегося при температуре несколько выше комнатной.

Найдено %: Н 5,79; 5,55; С 30,89; 30,84; Cl 44,99; 45,17; Si 11,73; 11,91
C₆H₁₃Cl₃OSi. Вычислено %: Н 5,56; С 30,59; Cl 45,15; Si 11,91

Кетоспирт (IV). Кетоспирт был получен при реакции (CH₃)₃SiCH₂MgCl (67 г (CH₃)₃SiCH₂Cl и 15 г Mg в 300 мл абс. эфира) с бензальдом* (53 г). После 6,5 час. нагревания, разложения водой и отгонки эфира продукт реакции (52,4 г) закристаллизовался. После трех перекристаллизаций из эфира он плавился при 92—93°.

Найдено %: Н 7,32; 7,46; С 72,38; 72,59; Si 10,06; 9,98
C₁₈H₂₂O₂Si. Вычислено %: Н 7,44; С 72,43; Si 9,40

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
10 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. H. Sommer, D. L. Bailey, F. C. Whitmore, J. Am. Chem. Soc., 72, 2869 (1948); L. R. Gold, L. H. Sommer, F. C. Whitmore, J. Am. Chem. Soc., 70, 2874 (1948); L. H. Sommer, N. S. Marans, J. Am. Chem. Soc., 72, 1935 (1950); L. H. Sommer et al. J. Am. Chem. Soc., 76, 1613 (1954). ² F. C. Whitmore, L. H. Sommer, I. R. Gold, R. E. Van Strien, J. Am. Chem. Soc., 67, 1551 (1945). ³ D. L. Bailey, A. N. Pines, Ind. and Eng. Chem., 46, № 11, 23 (1954). ⁴ А. Д. Петров, В. Ф. Миронов, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, № 3, 635. С. И. Садых-Заде, Е. А. Чернышев, В. Ф. Миронов, ДАН, 105, № 3, 496 (1955). ⁵ А. Д. Петров, Е. А. Чернышев, М. Е. Долган, ЖОХ, 25, 2469 (1955). ⁶ Ch. R. Hauser, Ch. R. Hance, J. Am. Chem. Soc., 74, 5091 (1952). ⁷ А. Д. Петров, В. А. Пономаренко, Б. А. Соколов, Ю. П. Егоров, Изв. АН СССР, ОХН, 1957 № 3. ⁸ К. Вейганд, Методы эксперимента в органической химии, ч. III, ИЛ, 1950, стр. 112. ⁹ А. Д. Петров, В. Ф. Миронов, В. Г. Глуховцев, Ю. П. Егоров, Изв. АН СССР, ОХН, 1957 № 3. ¹⁰ П. Ф. Груздев, ЖФХ, 28, № 3, 507 (1954). ¹¹ А. Д. Петров, Ю. П. Егоров, В. Ф. Миронов, Г. И. Никишин, А. А. Бугакова, Изв. АН СССР, ОХН, 1956, № 1, 50. ¹² F. C. Whitmore, L. H. Sommer, L. S. Tyler, J. Am. Chem. Soc., 70, 2872 (1948).

* Бензил прибавлялся к гриньяровому реагенту в твердом виде небольшими порциями

Л. Х. ФРЕЙДЛИН и Б. Д. ПОЛКОВНИКОВ

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ГИДРИРОВАНИЯ ДВОЙНЫХ СВЯЗЕЙ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНА НА Pd- и Pt-ЧЕРНЯХ

(Представлено академиком А. А. Баландиным 17 VII 1956)

Селективное гидрирование сопряженных двойных связей в циклических углеводородах мало исследовано. Недавно нами была подробно изучена последовательность гидрирования двойных связей в циклопентадиене на платином-никелевом катализаторе. Показано, что водород начинает при-
двигаться к циклопентену лишь после того, как прогидрируется весь циклопентадиен. Найдено, что строгая избирательность гидрирования сопряженных двойных связей в циклопентадиене обусловлена адсорбционным вытеснением образующегося циклопентена циклопентадиеном.

В настоящей работе изучалась последовательность гидрирования двойных связей циклопентадиена на Pd- и Pt-чернях. Реакция проводилась в жидкой фазе при 25° и атмосферном давлении. Растворителями служили циклогексан и 96%-ный этиловый спирт. Водород применялся электролитический. Специальными опытами было установлено, что скорость качаний, частота хода качалки и габариты утки обеспечивают протекание реакции в кинетической области.

Черни получались восстановлением водных растворов хлористых солей Pd и Pt формалином в щелочной среде. Перед гидрированием катализатор в течение 20 мин. донасыщался водородом при той же скорости встряхивания, что и при гидрировании.

Так как реакция гидрирования протекает с большой скоростью, расход водорода отмечался через каждые 30 сек. Условия опытов приведены в табл. 1. Полученные результаты изображены на кинетических кривых, характеризующих зависимость скорости поглощения водорода $\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$ от суммарного объема израсходованного водорода $\left(\frac{\Sigma v}{2}\right)$.

Гидрирование с Pd-чернью. Из табл. 1 (опыт 1) и рис. 1, видно, что скорость гидрирования циклопентадиена ($\sim 0,002$ г-моля) остается постоянной (11,4 мл за 0,5 мин.) до поглощения 45% требуемого водорода, т. е. реакция протекает по нулевому порядку. Перелом на кинетической кривой гидрирования циклопентадиена соответствует моменту присоединения одного моля водорода (46,9 мл, требуется 49,9 мл). Качественной реакцией с гидрохиноном ⁽¹⁾ в параллельно проведенном опыте 2 подтверждено, что в этот момент циклопентадиен в растворе отсутствует. Полученные данные указывают на последовательность гидрирования двойных связей циклопентадиена. Очевидно, что участок кинетической кривой после перелома передает скорость гидрирования образовавшегося циклопентена. Скорость реакции на этом участке значительно ниже. Опыты с циклопентеном подтвердили это. При гидрировании циклопентена (опыт 3, рис. 1) первые 45% требуемого водорода поглощаются с постоянной скоростью, равной 5,2 мл/0,5 мин.

Гидрирование цикlopentадиена и цикlopентена на Pd- и Pt-чернях. Условия опыта: Температура 25°, объем растворителя 10 мл, 900 качаний в 1 мин., длина хода качаки 12,7 см; габариты утки — длина 180 мм, диаметр 30 мм

№№ опытов	Гидрируемые вещества	Вес в г		Раствори- тель	Расход водо- рода в мл		Степень гидро- вания циклопент- адиена в %	Реакция на ци- клопентадиен	Продолжитель- ность опыта в мин.	Средняя скорость поглощения водо- рода мл за 1 мин
		веще- ства	катали- затора		теоре- тиче- ский	факти- ческий				
Катализатор — Pd-чернь										
1	Циклопентадиен	0,1275	0,1022	C ₆ H ₁₂	99,8	98,7	—	—	15	11,0
2	Циклопентадиен	0,1275	0,1020	C ₆ H ₁₂	99,7	44,9	90,7	Положит.	—	—
						49,8*	100,0	Отрицат.	—	—
3	Циклопентен	0,1277	0,1010	C ₆ H ₁₂	49,3	49,8	—	—	10	5,0
4	Циклопентен	0,2555	0,1010	C ₆ H ₁₂	98,7	98,7	—	—	12	6,0
Катализатор Pt-чернь										
5	Циклопентадиен	0,1255	0,0998	C ₆ H ₁₂	97,4	97,8	—	—	—	14,0
6	Циклопентадиен	0,1255	0,0437	C ₆ H ₁₂	97,4	96,7	—	—	—	7,0
7	Циклопентадиен	0,1262	0,0244	C ₆ H ₁₂	98,6	98,7	—	—	—	3,0
8	Циклопентадиен	0,1250	0,0970	C ₂ H ₅ OH	97,1	93,8	—	—	6	—
9	Циклопентадиен	0,0625	0,0970	C ₂ H ₅ OH	48,5	43,5	—	—	4	—
10	Циклопентадиен	0,1267	0,0244	C ₆ H ₁₂	98,6	68,0	138,0	Положит.	—	—
						82,3*	167,0	Отрицат.	—	—
11	Циклопентен	0,2554	0,0437	C ₂ H ₅ OH	97,4	97,5	—	—	21	4,0
Катализатор — Pt/BaSO ₄										
12	Циклопентадиен	1,1547	0,0442	C ₆ H ₁₂	122,1	63,0	103,2	Положит.	—	—

* В параллельном опыте.

Гидрирование с Pt-чернью. Условия и результаты опытов представлены в табл. 1 и на рис. 2. Из табл. 1 видно, что скорость реакции гидрирования находится в прямой связи с количеством катализатора

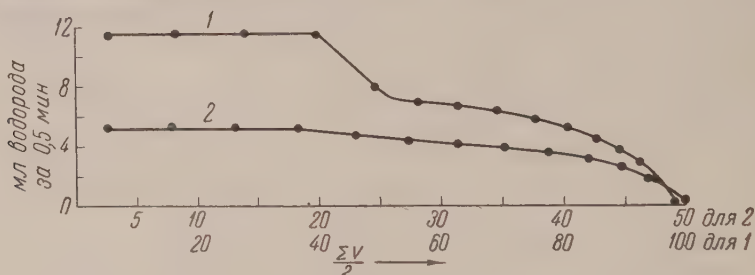


Рис. 1. Гидрирование цикlopентадиена (1) и цикlopентена (2) в циклогексане на Pd-черни

тора (опыты 5—7) и количеством взятого в реакцию цикlopентадиена (опыты 8 и 9).

При 0,1 г катализатора реакция в циклогексане (кривая 1) и в спиртовой среде (кривая 2) протекает с небольшим ускорением. С меньшим количеством катализатора (0,044 г) в циклогексане реакция протекает до самого конца с постоянной скоростью (кривая 3). На этих кинетических кривых в отличие от полученных с Pd-чернью, нет перелома. Характер этих кривых не дает возможности судить о последовательности насыщения водородом двойных связей цикlopентадиена. Однако реакцией с гидрохиноном было установлено, что цикlopентадиен еще присутствует в растворе после поглощения 138% водорода, но отсутствует, когда расход водорода достигал

% необходимого для гидрирования циклопентадиена в цикlopентен (опыт 10).

На Pt-черни цикlopентен также гидрируется с постоянной скоростью — большей, чем цикlopентадиен (опыты 6 и 11, кривые 3 и 4), хотя в спиртовой среде реакция протекает с большей скоростью.

При применении в качестве катализатора Pt (5%), нанесенной на сернокислый барий, гидрирование цикlopентадиена также протекает не изометрично (опыт 12).

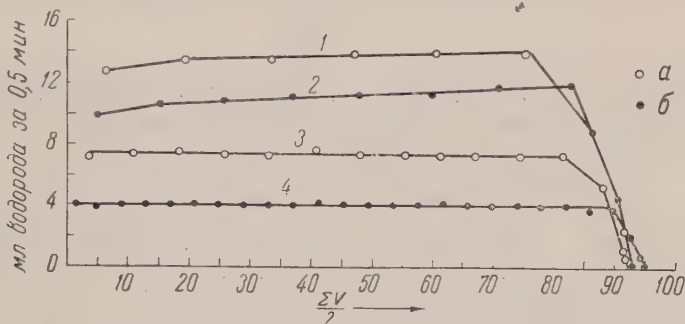
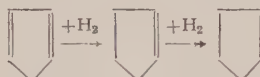


Рис. 2. Гидрирование цикlopентадиена (1—3) и цикlopентена (4) на Pt-черни, а — в циклогексане, б — в 96%-ном этиловом спирте

Таким образом на Pd-черни, как и на скелетном никелевом катализаторе, напряженные двойные связи цикlopентадиена гидрируются последовательно:



на Pt-черни — одновременно.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
2 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. М. Терентьева, А. Ф. Платэ, Усп. хим., 20, 561 (1951).

Д. И. АБУГОВ

О ПРЕДЕЛАХ УСТОЙЧИВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ГАЗАХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ДАВЛЕНИИ

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 9 VII 1956)

1. При изучении механизма горения методами тепловой теории существенное значение придается роли передачи тепла в протекании экзотермических реакций (¹⁻³). Но при изменении состояния газа с большими скоростями и с большой удельной работой тепловое взаимодействие (передача тепла) термодинамической системы с окружающей средой имеет второстепенное значение по сравнению с механическим взаимодействием (обмен механической работой). Так обстоит дело при горении в двигателях пулестреляющего типа, в том числе и в поршневых двигателях, и вообще при горении в условиях переменных величин давления и объема.

Механизм прекращения распространения пламени (срыва горения) сходен с механизмом воспламенения: основное значение в том и другом явлении имеют условия энергетического обмена реагирующего газа с окружающей средой*, обуславливающие переход от стационарного протекания реакции к существенно нестационарному (при воспламенении — от стационарной реакции, сопровождающейся незначительным разогревом к прогрессивно понижающейся реакции; при срыве горения — от стационарной быстрой реакции к прогрессивно понижающейся реакции).

Вопросы воспламенения при различных формах энергетического обмена с окружающей средой рассматривались ранее (⁴).

2. Составим уравнение энергии для элемента зоны пламени, в котором находятся реагирующие газы и продукты реакции, приняв следующие упрощения: а) давление p по всему объему камеры одинаково; б) кинетическая энергия газов мала по сравнению с их энтальпией, и потому изменение кинетической энергии не учитывается; в) рассматривается идеальный газ, физические параметры которого (теплоемкость, коэффициент теплопроводности и др.) имеют постоянные значения (средние в рассматриваемом интервале); г) горение (химическая реакция) рассматривается как внешний источник тепла; д) не учитывается изменение числа молей при химических превращениях и термическая диссоциация при высоких температурах; е) рассматривается одномерная задача, т. е. считается, что состояние газа (температура T , плотность ρ , скорость u) зависит от координаты x , направление которой совпадает с направлением распространения пламени, и от времени τ .

Дифференциальное уравнение, выражающее закон сохранения энергии (первый закон термодинамики), напомним в форме (относя к единице объема в единицу времени):

$$c_p \rho \frac{dT}{d\tau} = \rho \frac{dQ}{d\tau} + \frac{dp}{d\tau}. \quad (1)$$

* Аналогичным образом можно трактовать и условия детонационного срыва, т. е. перехода медленного распространения пламени в детонацию.

Примем систему координат, связанную с зоной пламени; в этой системе координат зона пламени неподвижна, а исходный газ движется по направлению координаты x со скоростью $u_{пл}$. По условию задачи $T = f(\tau, x)$, поэтому $\frac{dT}{d\tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau} + u_{пл} \frac{\partial T}{\partial x}$.

Выражение для количества тепла, подведенного к единице объема единицу времени, учитывая выделение тепла химической реакцией, перенос тепла теплопроводностью (в направлении распространения пламени) теплоотдачу газа в стенки, представим в виде

$$\rho \frac{dQ}{d\tau} = H_{см} \omega + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \Phi_{ст}.$$

где ω — скорость химической реакции; $H_{см}$ — тепловой эффект реакции; $\Phi_{ст} = \frac{P}{F} \alpha (T - T_{ст})$ — теплоотдача в стенки, где α — коэффициент теплоотдачи от газа в стенки, P — периметр зоны пламени и F — ее сечение. Подставив в уравнение (1) соответствующие выражения, разделив на ρ и сделав некоторые преобразования, получим:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u_{пл} \frac{\partial T}{\partial x} - a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{H_{см}}{c_p} \frac{\omega}{\rho} + A, \quad (2)$$

где $A = \frac{k-1}{k} \frac{T}{p} \left[-\alpha \frac{P}{F} (T - T_{ст}) + \frac{dp}{d\tau} \right]$ — член, учитывающий энергетическое взаимодействие реагирующего газа с окружающей средой; $a = \lambda / c_p \rho$ — коэффициент температуропроводности.

3. В применении к двигателям интерес представляет распространение пламени в турбулентной газовой смеси. Примем некоторые допущения, позволяющие структуры зоны пламени при его распространении по турбулентной смеси.

По современным представлениям (5) в случае мелкомасштабной турбулентности воздействие последней на распространение пламени связано интенсификацией процессов переноса тепла (и вещества) в зоне пламени, что приводит к увеличению скорости распространения пламени и соответствующему росту ширины зоны пламени ($\delta \sim u_{пл}$). Поэтому в случае мелкомасштабной турбулентности уравнение (2) с полным основанием может быть применено к турбулентной зоне горения.

Для установления условий прекращения распространения пламени воспользуемся приближенными методами решения. Будем рассматривать предельный случай, когда скорость химической реакции очень резко изменяется с температурой (т. е. $E/RT \gg 1$) и можно считать (2), что реакция в основном идет при температуре, близкой к максимальной температуре горения.

Обозначим левую часть уравнения (2) через $D(T, x)$. При $A = 0$ (т. е. $p = \text{const}$ и $\Phi_{ст} = 0$) имеем из уравнения (2) $D_0 = \frac{H_{см}}{c_p} \frac{\omega}{\rho}$. Обозначим максимальную температуру пламени в случае $A = 0$ через $T_{пл. теор}$ причем $H_{см}/c_p = T_{пл. теор} - T_0$. Введем характеристическое время реакции $\tau_p = \rho / \omega$, за которое при постоянной скорости реакции выгорает все наличное количество реагирующего вещества). В случае $A = 0$ будет $\tau_p = \tau_{р. теор}$, где $\tau_{р. теор} \sim e^{E/RT_{теор}}$.

Теперь предыдущее уравнение можно написать в виде $D_0 = \frac{T_{пл. теор.} - T_0}{\tau_{р. теор}}$,

где D_0 — средняя скорость повышения температуры в зоне пламени, которая получилась бы, если реакция протекала с неизменной скоростью и при отсутствии переноса тепла и вещества, в случае $A = 0$.

В условиях распространения пламени при переменном давлении в случае наличия потерь тепла в стенки $A \neq 0$; в зависимости от конкретных

условий возможно $A < 0$ и при этом $D < D_0$, или $A > 0$ и $D > D_0$.
Здесь $D = \frac{T_{пл.} - T_0}{\tau_p}$; $T_{пл.}$ — максимальная температура пламени в случае $A \neq 0$; τ_p — характеристическое время реакции, соответствующее $T_{пл.}$ (причем $\tau_p \sim e^{E/RT_{пл.}}$).

Уравнение (2) в случае $A \neq 0$ можно написать в виде $\frac{T_{пл.} - T_0}{\tau_p} = \frac{T_{пл. теор} - T_0}{\tau_p} + A$, откуда имеем

$$\Delta T_{пл} = A \tau_p, \quad (3)$$

где $\Delta T_{пл} = T_{пл.} - T_{пл. теор.}$. Применив разложение экспонента (3), приближенно находим $\tau_p = \tau_{р. теор} e^{-\Delta T_{пл} E / RT_{пл. теор.}^2}$. Воспользовавшись этим выражением и разделив обе части уравнения (3) на $RT_{пл. теор.}^2 / E$, получаем

$$\theta = \psi e^{-\theta}, \quad (4)$$

где $\theta = \frac{\Delta T_{пл} E}{RT_{пл. теор.}^2}$; $\psi = \frac{AE}{RT_{пл. теор.}^2} \tau_{р. теор.}$.

Из уравнения (4) находим (при исследовании уравнения (4) можно не учитывать слабой зависимости ψ от температуры по сравнению с экспоненциальным множителем): при $A = 0$ $\theta = 0$, т. е. $\Delta T_{пл} = 0$ или $T_{пл.} = T_{пл. теор.}$ при $A > 0$ $\theta > 0$, т. е. $T_{пл.} > T_{пл. теор.}$.

При этом могут создаваться условия детонационного срыва двух видов: 1) вследствие воспламенения смеси* от сжатия (впереди фронта пламени), вызывающего образование ударных волн; 2) в результате образования ударных волн, связанного с процессами горения в распространяющемся фронте пламени.

При $A < 0$ имеем $\theta < 0$, т. е. $T_{пл.} < T_{пл. теор.}$. Решая уравнение (4) можно установить, что экстремальная величина ψ отвечает $\theta = -1$, т. е. температура пламени может снизиться вследствие энергетического обмена более, чем на величину $RT_{пл. теор.}^2 / E$. Отметим, что такое же падение температуры на пределе получается в случае ламинарного горения при постоянном давлении при наличии тепловых потерь (2).

При $\theta \rightarrow -1$ имеет место $\partial \theta / \partial \psi \rightarrow \infty$ — нестационарный режим, сопровождающийся падением температуры и уменьшением скорости реакции, т. е. достигается предел распространения пламени, происходит срыв горения.

Из уравнения (4), несколько преобразовав его, получаем на границе срыва приближенное соотношение $\frac{[A]}{D_0} = \frac{1}{e} \frac{RT_{пл. теор.}}{E}$, т. е. отношение $[A]$ — величины скорости понижения температуры за счет падения давления и теплоотдачи в стенки к D_0 — средней скорости повышения температуры в зоне пламени при $A = 0$ имеет на пределе распространения определенное критическое значение. Наличие члена $RT_{пл. теор.} / E$ в последнем выражении связано с тем, что ширина зоны пламени (в которой имеют место потери) приблизительно в $E/RT_{пл. теор.}$ раз превышает ширину зоны химической реакции.

Если ввести характеристическое время потерь $\tau_{пот} = RT_{пл. теор.}^2 / E$ [время, в течение которого происходит снижение температуры газа на один характеристический интервал за счет изменения давления и теплоотдачи в стенки], то на пределе распространения пламени из уравнения (4) получим

* Воспламенения местного характера, учитывая температурную неоднородность смеси в реальных условиях.

ем $\frac{\tau_{р. теор}}{\tau_{пот}} = \frac{1}{\epsilon}$ — отношение характеристического времени реакции

к характеристическому времени потерь постоянно.

В случае крупномасштабной турбулентности происходит увеличение поверхности горения вследствие деформации ее турбулентными пульсами; при распространении пламени возникает сравнительно широкая зона горения, не имеющая однородной структуры и представляющая как бы сложенный в гармошку тонкий фронт пламени (слой горящего газа разбит на слои исходного газа).

Для турбулентности сама по себе не меняет протекания химической реакции; в случае крупномасштабной турбулентности реакция также идет в тех же температурах, близких к максимальной температуре пламени. Поэтому постоянное отношение времени понижения температуры от энергетического обмена к времени повышения температуры от химической реакции ($\tau_{р. теор}/\tau_{пот} = \text{const}$), полученное как критическое условие срыва горения при мелкомасштабной турбулентности, должно остаться справедливым и при крупномасштабной турбулентности.

Пределы устойчивого распространения пламени в сильной степени зависят от величины $dp/d\tau$. В случае двигателей периодического сгорания, имеющих открытую с одного конца камеру (газотурбинных, реактивных) для определения величины $dp/d\tau$ большую роль играют, кроме закона сохранения тепла, условия течения газов (⁶⁻⁸).

В случае поршневых двигателей $p = f(V, z)$, где $V(\tau)$ — объем камеры, z — доля выгоревшего вещества. Поэтому

$$\frac{dp}{d\tau} = \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_z \frac{dV}{d\tau} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_V \frac{dz}{d\tau},$$

$$\text{или, так как } \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_z = -k \frac{p}{V}, \quad \frac{1}{p} \frac{dp}{d\tau} = -k \frac{d \ln V}{d\tau} + \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_V \frac{dz}{d\tau}.$$

В этом уравнении первый член, учитывающий изменение объема камеры (перемещение поршня), сильно зависит от положения поршня относительно верхней мертвой точки; второй член, учитывающий выгорание, зависит от тепловых свойств смеси ($H_{см}/c_V T_0$) и скорости распространения пламени.

Многие экспериментальные факты из области горения в двигателях, особенно вопросы, связанные с пределами устойчивой работы поршневого двигателя с искровым зажиганием на бедных смесях, получают физическое объяснение на основе изложенных соображений.

Пользуюсь случаем выразить благодарность Я. Б. Зельдовичу и М. Тодесу за ценные советы и замечания по данной работе.

Поступило
9 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Семенов, Усп. физ. наук, **23**, 3, 251 (1940); **24**, 4, 433 (1940).
- ² Я. Б. Зельдович, Теория горения и детонации газов, Изд. АН СССР, 1944.
- ³ Д. А. Франк-Каменецкий, Диффузия и теплопередача в химической кинетике, Изд. АН СССР, 1947.
- ⁴ Д. И. Абугов, ДАН, **100**, № 2, 291 (1955).
- ⁵ К. И. Щелкин, ЖТФ, **9**—10, 520 (1943); Изв. АН СССР, ОТН, № 3 (1953).
- ⁶ В. В. Уваров, Характеристики авиационной газовой турбины, 1946.
- ⁷ К. П. Станюкович, Элементы прикладной теории неустановившихся движений газа, 1953.
- ⁸ A. Kahane, L. Lees, 2nd symposium on combustion and flame and explosions phenomena, 1949, pp. 222—229.

И. И. АНТИПОВА-КАРАТАЕВА

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ РАСТВОРОВ И ИЗОМОРФНЫХ КРИСТАЛЛОВ КВАСЦОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ХРОМА

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 18 VII 1956)

В теоретических работах, посвященных исследованию вопроса о поглощении света примесями в диэлектриках (¹⁻³), рассматриваются только такие случаи, когда «центры поглощения» независимы друг от друга. Однако известно, что закон Бера, отражающий это предположение, выполняется не всегда. В тех случаях, когда отклонения от него нельзя объяснить химически, причину следует, видимо, искать во взаимодействии центров поглощения. Представляется интересным выяснить, при каких условиях

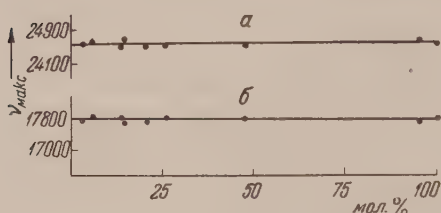


Рис. 1. Зависимость положения максимумов полос поглощения в кристаллах квасцов от содержания хрома. а — $\nu_{\text{макс}} = 24600 \text{ см}^{-1}$, б — $\nu_{\text{макс}} = 17700 \text{ см}^{-1}$

это взаимодействие становится настолько значительным, что отражается на спектрах поглощения.

Были исследованы спектры поглощения смешанных кристаллов растворов алюмокалиевых и хромокалиевых квасцов; в них ионы хрома изоморфно замещают ионы Al^{3+} и являются окрашивающей примесью. Аналогичное, но менее полное исследование было проведено ранее Ритшлем и Мюллером (⁴) на кристаллах корунда Al_2O_3 , окрашенных изоморфной примесью.

Cr^{3+} . Было интересно проследить поведение широких полос в спектрах различных по структуре кристаллов в зависимости от концентрации одной и той же окрашивающей примеси.

Спектры поглощения кристаллов и растворов квасцов были измерены в области длин волн 250—700 мμ при комнатной температуре. В видимой части спектра измерения проведены на монохроматоре УМ-2 фотоэлектрическим методом, в ультрафиолетовой области — на спектрографе Q-1. Интервал изменения концентраций хрома в кристаллах от 2,9 до 100 мол. % в растворах $7 \cdot 10^{-3}$ — $5,6 \cdot 10^{-1}$ мол. %.

В спектрах поглощения кристаллов квасцов имеются три широкие полосы поглощения $\nu_{\text{макс}} = 17700, 24600$ и 38750 см^{-1} , причем последняя находится очень близко к границе основного поглощения, поэтому подробно ее исследовать не удалось. Положение максимумов полос поглощения двух других полос и их полуширина не зависят от концентрации хрома (рис. 1). Площади, ограниченные кривой спектрального поглощения и осью частот, пропорциональны концентрации хрома, так же как и коэффициенты поглощения в максимумах. Закон Бера выполняется строго (рис. 2). Форма полос близка к форме кривой ошибок Гаусса. Силы осцилляторов равны $f_{17700} = 2,25 \cdot 10^{-5}$ и $f_{24600} = 2,16 \cdot 10^{-5}$.

Исследование положения максимумов соответствующих широких полос поглощения в спектрах корундов, окрашенных хромом, показало,

осы смещаются по спектру в сторону низких частот при возрастании концентрации хрома, причем сильный сдвиг наблюдается в интервале концентраций 8,4—100 мол.%, а для меньших концентраций положение полос и постоянно. По данным Тило (5), магнитные и термохимические свойства этих кристаллов, а также параметры решетки, удельный вес и выход люминесценции испытывают аналогичные изменения при изменении концентрации хрома. Тило и Зауер (6) исследовали зависимость окраски, плотности решетки, плотности и термохимических свойств от концентрации хрома для смешанных кристаллов шпинелей $MgO \cdot Al_2O_3 - MgO \cdot Cr_2O_3$. Новые зависимости свойств корундов и шпинелей от концентрации хрома

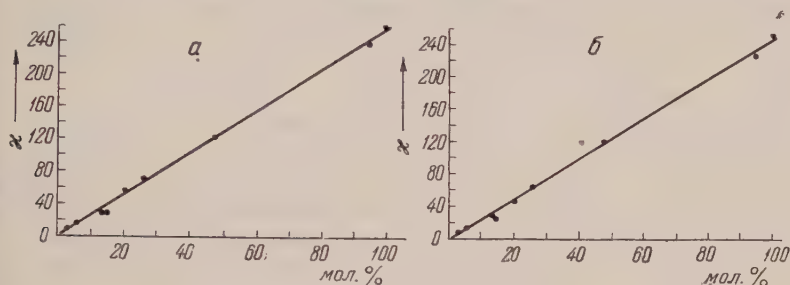


Рис. 2. Выполнимость закона Бера для смешанных кристаллов квасцов. а — $\nu_{max} = 17700 \text{ см}^{-1}$, б — $\nu_{max} = 24600 \text{ см}^{-1}$

оказались подобными, но пограничная концентрация для шпинели равна 100 мол.%. Тило объясняет описанные явления тем, что существуют два типа ионов хрома в этих кристаллах: при малых концентрациях, когда ионы существуют независимо друг от друга, и при больших, когда каждый ион имеет ближайшим соседом хотя бы один такой же ион. Грубый подсчет показывает, что такой пограничной концентрацией для корундов является 8,4 мол.%, для шпинелей 15 мол.%. Ионы хрома в смешанных кристаллах ведут себя независимо от концентрации. Причиной такого различия является различие в структуре рассматриваемых кристаллов. В корунде ион хрома находится в центре октаэдра, в шпинелях — в центре тетраэдра из ионов кислорода, причем кратчайшее расстояние в корундах между ионами металлов равно $\approx 2 \text{ \AA}$. В кристаллах квасцов ион хрома находится в центре октаэдра из молекул H_2O , находящихся на расстоянии 1 \AA от него.

Хром принадлежит к переходным элементам. Электронные переходы, соответствующие широким полосам поглощения в спектрах рассматриваемых кристаллов, происходят, видимо, внутри незаполненной $3d$ -оболочки, так как сила осцилляторов мала — порядка 10^{-4} — 10^{-5} . При поглощении происходит перераспределение электронов внутри $3d$ -оболочки, следовательно электрическое поле, создаваемое ионом, мало меняется на больших расстояниях от него, и сильное взаимодействие может иметь место только с ближайшими соседями. Как показано выше, расстояние до них должно быть порядка 2 \AA . Ионы хрома в кристаллах квасцов экранированы внутренней оболочкой из шести молекул воды, поэтому изменение концентрации хрома не отражается на спектрах поглощения.

Это предположение подтверждают исследования спектров поглощения растворов смешанных квасцов. Известно, что при растворении квасцов хрома переходит в раствор в виде комплекса $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$, сохраняя свою водную оболочку. Спектры поглощения растворов очень близки к спектрам кристаллов: полуширины соответствующих полос почти равны, максимумы в спектрах растворов несколько смещены в сторону низких частот. Закон Бера выполняется строго (рис. 3). Положение максимумов и их полуширина не зависят от концентрации хрома. Форма полос

близка к форме кривой ошибок Гаусса. Силы осцилляторов равны $f_{17300} = 6,2 \cdot 10^{-5}$ и $f_{24300} = 4,0 \cdot 10^{-5}$.

Следовательно, изменение удаленных соседей хрома мало влияет на спектры поглощения ионов хрома. Основную роль играет ближайшее окружение, замена которого приводит к значительным изменениям в спектре. Как показал исследование поглощения растворов зеленой модификации квасцов — основных комплексов хрома и комплексов $[\text{Cr}(\text{SO}_4)_3]^{3-}$, наблюдается большой сдвиг полос по спектру, а также значительное изменение пол-

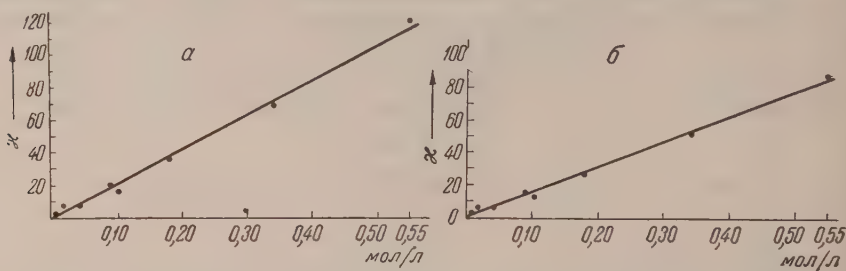


Рис. 3. Выполнимость закона Бера для смешанных растворов квасцов. $a_1 - \nu_{\text{макс}} = 17300 \text{ см}^{-1}$, б — $\nu_{\text{макс}} = 24300 \text{ см}^{-1}$.

ширины полос (до 13%) при переходе от растворов квасцов к этим растворам, чем при переходе к кристаллам.

Описанные особенности в поведении широких полос в спектрах растворов и кристаллов смешанных квасцов показывают, что за «центры поглощения», рассматриваемые в теории А. С. Давыдова и С. И. Пекара, в данном случае следует считать не ионы хрома, а комплексы иона хрома $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило
4 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. И. Пекар, ЖЭТФ, **22**, 6, 41 (1952).
- ² А. С. Давыдов, ЖЭТФ, **2**, 197 (1953).
- ³ F. E. Williams, J. Chem. Phys., **19**, 57 (1951).
- ⁴ R. Ritsch, R. Müller, Zs. f. Phys., **133**, 237 (1952).
- ⁵ E. Thilo, Miscellanea academica berolinensia, **1**, 82 (1950).
- ⁶ E. Thilo, R. Sauer, Chemie der Erde, **17**, 165 (1955).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. С. ЕНИКОЛОПЯН

**О РОЛИ СТАБИЛЬНЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
В СЛОЖНЫХ ЦЕПНЫХ РЕАКЦИЯХ**

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 4 VII 1956)

Кинетика сложных цепных реакций, протекающих с образованием ряда стабильных промежуточных продуктов (СПП) (например, перекиси, альдегиды, спирты и т. д. при окислении углеводородов), отличается от кинетики простых цепных реакций (реакция водорода с хлором, окисление водорода и окиси углерода при низких давлениях и т. д.) тем, что в сложных цепных реакциях по мере накопления СПП механизм процесса меняется. В начале реакции, когда концентрация СПП мала, активные частицы (атомы, радикалы) в основном реагируют с исходными веществами. По мере накопления СПП активные частицы одновременно реагируют и с исходными веществами, и с СПП, что и приводит к изменению механизма по ходу процесса.

Скорость неразветвленного цепного процесса описывается уравнением

$$\omega = a_0 \nu = a_0 \frac{a}{g}, \quad (1)$$

a_0 — скорость зарождения активных центров; ν — длина цепи, a — константа скорости продолжения цепи; g — константа скорости гибели. При квадратичной гибели активных центров в уравнение (1) a_0 и g войдут в степени $1/2$. Это не внесет существенных изменений в наши рассуждения, поэтому развиваемые ниже представления о роли СПП полностью применимы и при квадратичной гибели.

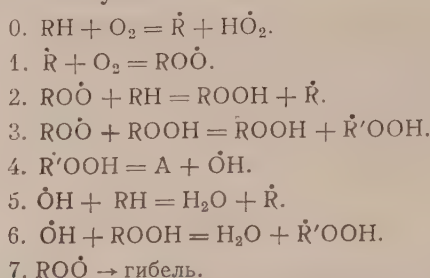
В сложных цепных реакциях возможны случаи, когда СПП зарождает активные центры с большей скоростью, чем исходные вещества. Это явление легло в основу теории вырожденного разветвления Н. Н. Семенова (1) и было рассмотрено нами (2). В этом случае скорость реакции описывается уравнением

$$\omega = (a_0 + hx) \nu = (a_0 + hx) \frac{a}{g}, \quad (2)$$

hx — скорость вырожденного разветвления; x — концентрация СПП, способного зародить активные центры с большей скоростью, чем исходные вещества; h — константа элементарного процесса вырожденного разветвления.

Теория вырожденного разветвления в настоящее время общепризнана, так как в сложных цепных реакциях вырожденное разветвление не является единственным процессом, в результате которого СПП влияют на ход реакции. В сложных цепных реакциях возможен случай, когда СПП влияют на процесс зарождения a_0 , а не на длину цепи ν . При этом необходимо учитывать два принципиально различных случая: I — увеличение и II — уменьшение длины цепи ν по мере накопления СПП.

I. Увеличение длины цепи γ по мере накопления СПП. Рассмотрим схему



Эту схему не следует рассматривать как химически доказанную и веренную на опыте. Мы ее приводим только в качестве иллюстрации.

Как видно из схемы, скорость реакции расходования углеводорода будет

$$w = a_2 [\text{RO}\dot{\text{O}}] + a_5 [\dot{\text{O}}\text{H}].$$

Применив условие стационарности и выразив концентрацию радикалов $[\text{RO}\dot{\text{O}}]$ и $[\dot{\text{O}}\text{H}]$ через концентрацию исходных веществ, для скорости реакции, получим

$$w = a_0 \frac{a_2 + k_3 [X]}{a_7},$$

где $[X]$ — концентрация СПП (в данном случае гидроперекиси), реагирующих с малоактивным радикалом $\text{RO}\dot{\text{O}}$. a_2 и a_7 — соответственно, константы продолжения и гибели цепей.

Как видно из уравнения (4), длина цепи возрастает на величину $\frac{k_3 [X]}{a_7}$. Если бы не было процесса 3, длина цепи была бы a_2/a_7 .

Скорость накопления СПП X :

$$\frac{d[X]}{dt} = a_2 [\text{RO}\dot{\text{O}}] - k_6 [X] [\dot{\text{O}}\text{H}].$$

Подставив значения $[\text{RO}\dot{\text{O}}]$ и $[\dot{\text{O}}\text{H}]$, выраженные через концентрации исходных веществ, в уравнение (5) и решив его в предположении, что в начале процесса концентрация $[X]$ равна нулю, получим:

$$\xi = \frac{e^{2\varepsilon\tau} - 1}{e^{2\varepsilon\tau} + 1},$$

где

$$\xi = \frac{[\text{ROOH}]}{[a_2 a_5]^{1/2}} \text{ — безразмерная концентрация;}$$

$$\varepsilon = \left[\frac{a_5 k_3}{k_6 a_2} \right]^{1/2} \text{ — безразмерный параметр;}$$

$$\tau = \frac{a_0 k_3}{a_7} t \text{ — безразмерное время.}$$

Подставив значения $[\text{RO}\dot{\text{O}}]$, $[\dot{\text{O}}\text{H}]$ и $[X]$ в уравнение (3), для безразмерной скорости реакции получим:

$$\theta = 1 + \varepsilon \frac{e^{2\varepsilon\tau} - 1}{e^{2\varepsilon\tau} + 1},$$

где

$$\theta = \frac{w a_7}{a_0 a_2}.$$

Как видно из уравнения (7), скорость реакции со временем растет, стремясь к максимальному значению

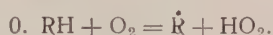
$$\theta = 1 + \varepsilon.$$

Безразмерный параметр ε показывает эффективность увеличения скорости реакции (длины цепи) в результате процесса продолжения с участием СПП.

На рис. 1 показана зависимость скорости реакции от времени при различных значениях ε . Расчет произведен по уравнению (7) без учета расхоживания исходного вещества.

Как и следовало ожидать, в начальный момент времени скорость реакции равна нулю, так как отсчет времени мы начинаем с момента установления стационарной и безразмерную скорость определили как отношение текущей скорости реакции к стационарной. Если $\varepsilon = 0$, то никакого ускорения нет, и реакция идет с постоянной скоростью, равной единице.

1. Уменьшение длины цепи γ по мере накопления СПП. Рассмотрим схему



Эту схему также следует рассматривать, как иллюстративную.

По этой схеме в результате реакций стабильных промежуточных продуктов А и В активный радикал $[\dot{\text{R}}'\dot{\text{O}}]$ превращается в малоактивный $\text{RO}\dot{\text{O}}$, и приводит к уменьшению длины цепи.

Применяя метод стационарности активных центров для скорости расщепления углеводородов, получим:

$$w = a_0 \frac{a_2}{a_6} \frac{a_3}{a_3 + k_4 [\text{X}]} \quad (8)$$

— концентрация промежуточного продукта А.

При отсутствии процесса 4 длина цепи равнялась бы a_2/a_6 . Процесс 4 уменьшает длину цепи в $\frac{a_3}{a_3 + k_4 [\text{X}]}$ раз. Как видно, чем больше в системе накапливается СПП А, тем меньше длина цепи, следовательно, тем выше скорость реакции. Скорость накопления А равна

$$\frac{d[\text{A}]}{dt} = a_2 [\text{RO}\dot{\text{O}}] - k_4 [\text{A}] [\dot{\text{R}}'\dot{\text{O}}]. \quad (9)$$

Выразив концентрации $[\text{RO}\dot{\text{O}}]$ и $[\dot{\text{R}}'\dot{\text{O}}]$ через концентрации исходных веществ и решив уравнения (8) и (9) в предположении, что в начале реак-

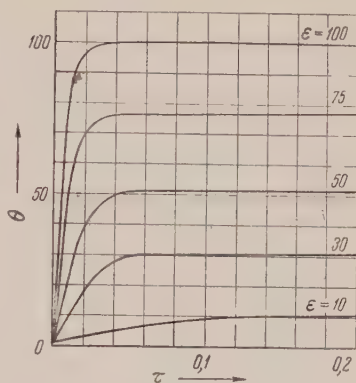


Рис. 1

ции концентрация СПП A равна нулю, получим зависимость скорости от реакции времени:

$$\theta = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 4\varepsilon\tau}},$$

где

$$\theta = \frac{wa_6}{a_0a_2},$$

θ , ε и τ имеют тот же смысл, что в уравнении (7).

На рис. 2 показана зависимость скорости реакции от времени, вычисленная по уравнению (10) для различных значений ε . Расчет произведен без учета выгорания.

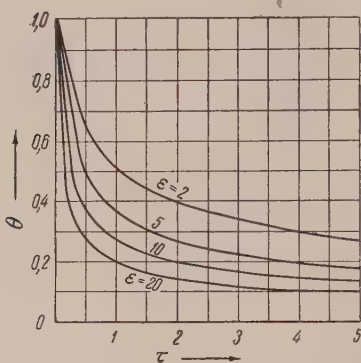


Рис. 2

Таким образом, как видно из рассмотренных схем I и II, в сложных цепных реакциях, протекающих с образованием ряда стабильных промежуточных продуктов, длина цепи может меняться по ходу реакции, что в свою очередь приведет к изменению скорости реакции. Если в результате реакции СПП с радикалом образуется радикал, более активный, чем исходный, то имеет место удлинение цепи. В противном случае по мере накопления СПП длина цепи уменьшается. Отметим, что значения ускорения и замедления могут быть различными в зависимости от конкретного механизма сложного процесса.

Рассмотренное выше двойное действие стабильных промежуточных продуктов на протекание сложных цепных реакций позволяет подойти к объяснению некоторых кинетических особенностей такого рода процессов.

Остановка окисления углеводородов задолго до полного расходования исходных веществ, постоянная скорость протекания реакции до очень больших глубин превращения (наблюдаемая для метана, бензола и др.), несомненное падение порядка реакции, определенного по ходу процесса, с определенным по начальной концентрации исходного углеводорода, автокатализатором, промежуточными и конечными продуктами, катализирующее и ингибирующее действие одних и тех же веществ в различных реакциях могут послужить удовлетворительное объяснение в рамках изложенных представлений.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
2 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ N. N. Semenov, Zs. Phys. Chem., 11, 434 (1931). ² Н. С. Ениколопов, ЖФХ, 30, № 4, 769 (1956).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Д. И. ЛЕЙКИС и Е. К. ВЕНСТРЕМ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА НУЛЕВОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОДОВ
ИЗ ДВУОКИСИ СВИНЦА МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 18 VII 1956)

В работах П. А. Ребиндера и Е. К. Венстрем (¹⁻³) было показано, что электрокапиллярная кривая понижения прочности твердого металла в зависимости от скачка потенциала на границе металл — электролит вполне логична классической электрокапиллярной кривой для понижения поверхностного натяжения жидкого металла. Позднее Е. К. Венстрем, И. Лихтман, П. А. Ребиндер (⁴) на примере свинца показали, что при измерении твердости маятниковым методом в условиях достаточно сильного коррозионного и диспергирования металла получается нормальная кривая максимумом; в условиях же измерения граничного трения между опорой и металлом кривая имеет минимум. Однако, независимо от того, экстремальные точки кривых лежат всегда при потенциале нулевого заряда.

Применение таких методов дает возможность непосредственно определить потенциал нулевого заряда твердого металла в концентрированных растворах, что невозможно или весьма трудно сделать другими методами (например, методом измерения емкости двойного слоя, адсорбционным методом).

Метод измерения твердости применен нами к определению потенциала нулевого заряда электродов из PbO_2 . Такое непосредственное определение потенциала нулевого заряда в концентрированном растворе особенно интересно в случае применяющегося в свинцовом аккумуляторе электрода PbO_2 : как показали И. Г. Киселева и Б. Н. Кабанов (⁵), на этом электроде происходит необратимая адсорбция серной кислоты, изменяющая электрохимические свойства электрода (в частности изменяется перенапряжение кислорода). В результате такой адсорбции весьма вероятно и изменение потенциала нулевого заряда при переходе от разбавленных растворов к концентрированным.

Для решения поставленной задачи мы проводили измерения в 0,1 н H_2SO_4 . Измерения в разбавленной кислоте проводились нами для того, чтобы сравнить полученные результаты с данными, полученными другими методами.

Измерения показали, что осадок PbO_2 , полученный при анодном окислении свинца в H_2SO_4 (аналогично тому, как это производится при изготовлении поверхностных пластин для свинцового аккумулятора), обладает физическими свойствами, достаточными для проведения измерений твердости маятниковым методом при диспергировании поверхности. Кривая зависимости твердости от потенциала имеет хорошо выраженный максимум. Получаемый осадок PbO_2 получался при длительном (в течение нескольких суток) анодном окислении металлического свинца в том же растворе, в котором велись измерения. На рис. 1 представлены кривые, полученные

на PbO_2 -электроде. Как видно из рисунка, максимум кривой в $0,1 \text{ н}$ H_2SO_4 лежит при потенциале $\sim 1,9$ в (н. в. э.). Мы полагаем, что эта величина соответствует потенциалу нулевого заряда. Укажем, что методом измерения емкости двойного слоя и адсорбционным методом Б. Н. Кабанов, И. И. Киселева и Д. И. Лейкис⁽⁶⁾ получили значение потенциала нулевого заряда $1,8$ в (н. в. э.) в $0,01 \text{ н}$ и $0,1 \text{ н}$ H_2SO_4 . Отличие полученных разными методами результатов всего лишь на $\sim 0,1$ в является доказательством применимости этих методов к электрохимическим осадкам, — таким как PbO особенно, если учесть, что в случае металлических электродов отличие между

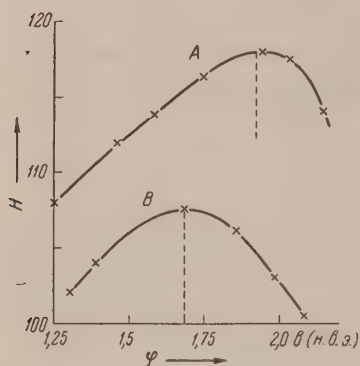


Рис. 1. Кривые зависимости твердости от потенциала для электродов из PbO_2 в H_2SO_4 . А — в $0,1 \text{ н}$ H_2SO_4 ; В — в 8 н H_2SO_4

результатами, полученными разными методами, достигает величин $0,2$ — $0,3$ в (например, Tl , Cd и др.)⁽⁷⁻⁹⁾.

Как видно из рис. 1, максимум кривой А полученной в 8 н H_2SO_4 , лежит при потенциале $1,7$ в, т. е. на $0,2$ в отрицательнее, чем в $0,1 \text{ н}$ H_2SO_4 . Сдвиг потенциала нулевого заряда при изменении концентрации H_2SO_4 качественно находится в соответствии с представлениями о поверхностно-активных свойствах аниона серной кислоты^(5, 10, 11). Как известно, специфически адсорбирующиеся анионы сдвигают максимум электрокапиллярной кривой на ртуть в отрицательную сторону. По-видимому, в концентрированном растворе серной кислоты на поверхности специфически адсорбировано больше анионов кислоты, чем в разбавленном, что и вызывает указанный сдвиг потенциала.

При рассмотрении кривой А рис. 1, обращает на себя внимание асимметрия кривой, выражающаяся в более резком падении твердости в области положительных зарядов поверхности, чем в области отрицательных зарядов. В основном этот эффект, как известно из теории электрокапиллярных явлений, обусловлен тем, что положительный заряд поверхности способствует адсорбции специфически-активных анионов. Это явление, по-видимому, можно связать с результатами, полученными при измерении емкости двойного слоя на таком же электроде⁽⁶⁾. При потенциалах выше $1,9$ в наблюдалось резкое повышение емкости двойного слоя, что было предположительно объяснено увеличением истинной поверхности в связи с изменением кристаллического строения поверхности. Можно предположить, что резкое падение твердости и возрастание емкости частично являются следствием поверхностного диспергирования, вызванного адсорпцией^(12, 13) анионов серной кислоты. Такое предположение согласуется с тем, что осадок, полученный в концентрированном растворе (8 н H_2SO_4) и, естественно, адсорбировавший больше кислоты, обладает пониженной твердостью — легче диспергируется (ср. рис. 1: кривая А лежит значительно выше кривой В). В случае концентрированного раствора (кривая В) не заметной асимметрии. Это, вероятно, связано с тем, что общее количество специфически адсорбированных анионов кислоты в концентрированном растворе даже в области отрицательных зарядов поверхности столь велико*, что оно мало изменяется при переходе в область положительных зарядов. Иначе говоря, частично адсорбируются молекулы серной кислоты.

Таким образом, показано, что метод измерения твердости может быть применен к определению потенциалов нулевого заряда окисных электродов. Этим методом можно измерить зависимость потенциала нулевого заряда от концентрации электролита.

* Может быть в связи с одновременной адсорбцией катионов.

закключение считаем приятным долгом выразить благодарность Б. Н. Кабанову за ценные советы, способствовавшие выполнению.

Поступило
21 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ребиндер, Е. К. Венстрем, ЖФХ, **19**, 1 (1945). ² П. А. Ре-
ер, Е. К. Венстрем, ДАН, **68**, 329 (1949). ³ Е. К. Венстрем,
Ребиндер, ЖФХ, **26**, 1847 (1952). ⁴ Е. К. Венстрем, В. И. Лихт-
П. А. Ребиндер, ДАН, **107**, 105 (1956). ⁵ И. Г. Киселева, Б. Н. Ка-
в, ДАН, **108**, 864 (1956). ⁶ Б. Н. Кабанов, И. Г. Киселева, Д. И.
ис, ДАН, **99**, 805 (1954). ⁷ А. В. Городецкая, Б. Н. Кабанов,
4, 529 (1933). ⁸ Т. И. Борисова, Б. В. Эршлер, А. Н. Фрумкин,
22, 925 (1948); Т. И. Борисова, Б. В. Эршлер, ЖФХ, **24**, 337 (1950).
Островский, В. И. Лихтман, ДАН, **96**, 319 (1954). ¹⁰ Н. А. Ба-
ва, ДАН, **103**, 639 (1955). ¹¹ Я. М. Колотыркин, Л. А. Медведе-
ЖФХ, **25**, 1355 (1951). ¹² П. А. Ребиндер, Юбилейн. сборн., посвящен.
по Великой Октябрьской социалистической революции, Изд. АН СССР, **1**, 1947.
И. Лихтман, П. А. Ребиндер, Г. В. Карпенко, Влияние поверх-
-активной среды на деформации металлов, Изд. АН СССР, 1954.

Г. Л. НАТАНСОН

ДИФфуЗИОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ НА ОБТЕКАЕМОМ ЦИЛИНДРЕ ПРИ МАЛЫХ КОЭФФИЦИЕНТАХ ЗАХВАТА

(Представлено академиком А. Н. Фрумкинм 12 VII 1956)

1. Вычисление числа аэрозольных частиц, осаждающихся из вязкого потока благодаря диффузии на перпендикулярный потоку цилиндр, было произведено приближенно Лэнгмюром ⁽¹⁾, принявшим, что при обтекании цилиндра к его поверхности успевают продиффундировать все частицы из объема, ограниченного некоторой линией тока ψ_1 (ψ — функция тока, проходящей при $\theta = \pi/2$ на расстоянии $r_0 - a = x_0$ от поверхности цилиндра) (θ и r — полярные координаты, a — радиус цилиндра). Значение x_0 вычислялось из выражения для среднего абсолютного броуновского смещения частицы

$$x = \left(\frac{4}{\pi} Dt \right)^{1/2},$$

в котором x определялось как среднее квадратичное расстояние поверхности цилиндра при движении вдоль линии тока ψ_1 между $\theta = \pi/2$ и $\theta = \pi/6$, а величина t — как время этого движения. При подстановке в (1) значений x и t , выраженных через x_0 , a и w по формуле Лэмба для распределения скоростей при $r - a \ll a$ было получено $\frac{x_0}{a} = \left(0,56 \frac{D}{wa} \right)^{1/2}$, где $w = \frac{v_0}{2(2,00 - \ln \text{Re})}$, $\text{Re} = \frac{2av_0}{\nu}$, а v_0 — скорость вне цилиндра. Значение коэффициента захвата ϵ , данное Лэнгмюром, имеет вид $\epsilon = \frac{\psi_1}{v_0 a} = \frac{w}{v_0} \left(2 \frac{r_0}{a} \ln \frac{r_0}{a} + \frac{a}{r_0} - \frac{r_0}{a} \right)$, где $\frac{r_0}{a} = 1 + \frac{x_0}{a}$. Поскольку величина x_0 рассчитывалась при условии $r - a \ll a$, полученное приближенное выражение, собственно говоря, относится лишь к областью малых коэффициентов захвата и вследствие $\frac{x_0}{a} \ll 1$ переходит в

$$\epsilon = 2 \frac{w}{v_0} \left(\frac{x_0}{a} \right)^2 = 1,36 \left(\frac{w}{v_0} \right)^{1/2} \left(\frac{D}{v_0 a} \right)^{1/2}.$$

Нетрудно показать, однако, что при малых ϵ формулы для диффузионного осаждения могут быть получены строго из дифференциального уравнения диффузии методом, развитым В. Г. Левичем для решения аналогичных задач ⁽²⁾.

2. Уравнение конвективной диффузии на перпендикулярный поток круглый цилиндр имеет в полярных координатах вид

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_r \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial c}{\partial \theta} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 c}{\partial \theta^2} \right).$$

При достижении стационарного состояния, полагая, что скорость диффузионного переноса в направлении θ значительно меньше, чем в направлении r или чем скорость конвекционного переноса, получим

$$v_r \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial c}{\partial \theta} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \right).$$

Если ограничиться областью $\frac{r-a}{a} = \kappa \ll 1$, т. е. случаем малых коэффициентов захвата, то уравнение диффузии примет вид

$$v_r \frac{\partial c}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial c}{\partial \theta} = D \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}.$$

Переходя от координат (r, θ) к координатам (ψ, θ) ⁽²⁾ и учитывая, $v_\theta = -\frac{\partial \psi}{\partial r}$ и $v_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}$, получим при $r \sim a$

$$\left(\frac{\partial c}{\partial \theta} \right)_\psi = aD \frac{\partial}{\partial \psi} \left(v_\theta \frac{\partial c}{\partial \psi} \right)_\theta. \quad (3)$$

В случае вязкого обтекания цилиндра, описываемого распределением скоростей Лэмба, при $\kappa \ll 1$ $\psi = 2\omega a \kappa^2 \sin \theta$ и $v_\theta = -4\omega \kappa \sin \theta$. По исключению κ уравнение (3) принимает вид

$$\frac{\partial c}{\partial \theta} = -(8\omega a D^2 \sin \theta)^{1/2} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\psi^{1/2} \frac{\partial c}{\partial \psi} \right). \quad (4)$$

Вводя переменную

$$\varphi = \int_0^{\theta_1} (8\omega a D^2 \sin \theta)^{1/2} d\theta,$$

получим

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi} = \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\psi^{1/2} \frac{\partial c}{\partial \psi} \right). \quad (5)$$

Решение (5) при граничных условиях $c = 0$ при $\psi = 0$ (на поверхности цилиндра) и $c = c_0$ при $\psi = \infty$ (вдали от цилиндра) имеет вид ⁽²⁾

$$c = \frac{3}{\Gamma(1/3)} \left(\frac{4}{9} \right)^{1/3} c_0 \int_0^u e^{-4^{1/3} u^3} du, \quad (6)$$

$u = \psi^{1/2} / \varphi^{1/3}$.

Диффузионный поток на единицу длины цилиндра равен

$$2J = 2 \int_0^\pi D \left(\frac{\partial c}{\partial r} \right)_{r=a} a d\theta = 2D \int_0^\pi \left(\frac{\partial c}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right)_{\psi=0} a d\theta. \quad (7)$$

Принимая во внимание, что в набегающем потоке (при $\theta = \pi$) $c = c_0$, получим из (6): при $\theta = \pi$ $u = \infty$ и $\varphi = 0$, т. е. $\theta_1 = \pi$. Поэтому из (6) и (7) получаем

$$2J = \frac{6}{\Gamma(1/3)} \left(\frac{4}{9} \right)^{1/3} c_0 (\omega a D^2)^{1/2} \int_0^\pi \frac{\sin^{1/2} \theta d\theta}{\left(\int_0^\pi \sin^{1/2} \theta d\theta \right)^{1/3}}. \quad (8)$$

Интеграл, стоящий в знаменателе, при подстановке $\sin^{1/2} \theta = z$ переходит

$$\theta < \frac{\pi}{2} \text{ в } \int_0^1 \frac{2z^2 dz}{\sqrt{1-z^4}} + \int_z^1 \frac{2z^2 dz}{\sqrt{1-z^4}}, \text{ а для } \theta > \frac{\pi}{2} \text{ в } \int_0^1 \frac{2z^2 dz}{\sqrt{1-z^4}} - \int_z^1 \frac{2z^2 dz}{\sqrt{1-z^4}},$$

$$\text{как } \int_z^1 \frac{z^2 dz}{\sqrt{1-z^4}} = \int_z^1 \sqrt{\frac{1+z^2}{1-z^2}} dz - \int_z^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}} = \sqrt{2} E \left(\arccos z, \frac{1}{\sqrt{2}} \right) - \frac{1}{2} F \left(\arccos z, \frac{1}{\sqrt{2}} \right), \text{ где } E \text{ и } F \text{ — эллиптические интегралы 2-го и 1-го}$$

рода, то значения интеграла в знаменателе формулы (8) могут быть получены из таблиц. При помощи этих значений, вычисляя величину всего интеграла формулы (8) графически, получим

$$2J = \frac{6}{\Gamma(1/3)} \left(\frac{4}{9}\right)^{1/3} 2,71 c_0 (\omega a D^2)^{1/3}.$$

Отсюда коэффициент захвата ϵ равен

$$\epsilon = \frac{J}{v_0 a c_0} = 2,32 \left(\frac{\omega}{v_0}\right)^{1/3} \left(\frac{D}{v_0 a}\right)^{2/3},$$

что значительно отличается по величине численного множителя от выражения (2) Лэнгмюра.

Вывод формулы (9) справедлив лишь для точечных частиц, так как для частиц конечного размера изменяется граничное условие на поверхности цилиндра и, кроме того, нужно учитывать влияние эффекта зацепления (частица, двигающаяся по линии тока, осаждается даже в отсутствие диффузии, когда центр ее приближается к цилиндру на расстоянии $r - a \leq R$, где R — радиус частицы). В отсутствие диффузии коэффициент захвата благодаря зацеплению для вязкого потока при $\frac{R}{a} = \kappa_0 \ll 1$ равен

$2 \frac{\omega}{u_0} \kappa_0^2$. Таким образом, выражение (9) справедливо при

$$\left(\frac{D}{v_0 a}\right)^{2/3} = \frac{1}{\text{Pe}^{2/3}} \ll 1$$

и

$$\left(\frac{R^3}{a^3} \frac{v_0 a}{D}\right)^{2/3} \ll 1,$$

где Pe — число Пекле.

4. В случае потенциального обтекания цилиндра при $\kappa \ll 1$ $\psi = 2v_0 a \kappa \sin \theta$ и $v_\theta = -2v_0 \sin \theta$. Уравнение (3) принимает вид

$$\frac{\partial c}{\partial \theta} = -2v_0 a D \sin \theta \frac{\partial^2 c}{\partial \psi^2},$$

что можно преобразовать в

$$\frac{\partial c}{\partial (\cos \theta + 1)} = 2v_0 a D \frac{\partial^2 c}{\partial \psi^2}. \quad (1)$$

Граничные условия задачи, заданной в форме (10), следующие: $c = 0$ при $\psi = 0$ и $c = c_0$ при $\cos \theta + 1 = 0$ ($\theta = \pi$). При этих условиях решение (10) имеет вид

$$c = c_0 \Phi \left(\frac{\psi}{\sqrt{8 v_0 a D (\cos \theta + 1)}} \right), \quad (1)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$ — функция Крампа.

Аналогично (7) получим

$$2J = 2 \int_0^\pi D \left(\frac{\partial c}{\partial \psi} \right)_{\psi=0} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} \right)_{r=a} a d\theta = c_0 \left(\frac{8 v_0 a D}{\pi} \right)^{1/2} \int_0^\pi \frac{\sin \theta d\theta}{(\cos \theta + 1)^{1/2}} = 8 c_0 \left(\frac{v_0 a D}{\pi} \right)^{1/2},$$

что соответствует решению Буссинеска (3) в аналогичной задаче для теплотрансформации.

Коэффициент захвата будет равен

$$\varepsilon = \frac{J}{v_0 a c_0} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{D}{v_0 a} \right)^{1/2}. \quad (12)$$

Так как коэффициент захвата для чистого зацепления для потенциально обтекания при $\kappa_0 \ll 1$ равен $2\kappa_0$, то выражение (12) справедливо условиях

$$\left(\frac{D}{v_0 a} \right)^{1/2} = \frac{1}{\text{Re}^{1/2}} \ll 1, \quad \left(\frac{R^2}{a^2} \frac{v_0 a}{D} \right)^{1/2} \ll 1.$$

Научно-исследовательский физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова

Поступило
20 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ I. Langmuir, OSRD Rep., № 865 (1942) (цит. по С. Chen, Chem. Rev., 55, (1955); пер. см. Усп. хим., 25, № 3 (1956)). ² В. Г. Левич, Физико-химическая гидродинамика, М., 1952, гл. 2, § 13—14. ³ Ф. Франк, Р. Мизес, Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики, Л.—М., ч. 2, гл. 14, § 2 (I), 1937.

С. И. ПОПЕЛЬ, О. А. ЕСИН, Г. Ф. КОНОВАЛОВ и Н. С. СМЕРНОВ

ВЛИЯНИЕ СЕРЫ НА МЕЖФАЗНОЕ НАТЯЖЕНИЕ НА ГРАНИЦЕ МЕТАЛЛ — ШЛАК

(Представлено академиком И. П. Бардиным 17 VII 1956)

Изучение поверхностной активности серы представляет существенный интерес как для выяснения механизма обессеривания жидкой стали, так и при рассмотрении выделения сульфидных включений в процессе кристаллизации (¹, ²).

Однако влияние серы на межфазное натяжение (σ) на границе железо — шлак не исследовалось. Известна лишь работа Казакевича и соавторов (³), в которой определялось изменение межфазного натяжения в процессе перехода серы из чугуна в промышленный шлак. Авторы пришли к выводу, что σ при этом возрастает, причем в условиях равновесия сера инактивна по отношению к межфазной границе.

Для изучения поведения серы по отношению к границе раздела сталь — шлак нами была принята в основном прежняя методика (⁴). В отличие от нее, в данной работе для просвечивания расплава применялась рентгеновская установка РУП-1 (200 кв).

Металлической фазой служило технически чистое железо, которое предварительно сплавлялось в нужной пропорции с FeS марки х. ч.

Шлаки готовились из химически чистых окислов CaO, SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃ и содержали:

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO
шлак № 1 (железистый)	34,9	34,6	—	27,2	0,5
шлак № 2 (доменный)	47	27	23	1,0	0,1

С железистым шлаком опыты велись в тиглях, выточенных из плавlenной магнезии, с доменным — в корундизовых и графитовых. В последнем случае, для устранения науглероживания, капля металла помещалась на пластинку из MgO. Вследствие взаимодействия с материалом тигля и подкладки содержание окиси магния в шлаках повышалось, достигая к концу опыта 11%. Как показали опыты, это не оказало существенного влияния на межфазное натяжение.

Серу вводили в одних опытах только в шлак (в виде FeS), в других — в металл, в третьих — в обе фазы, чтобы изучить не только равновесное, но и динамическое натяжение в процессе перехода серы как из металла в шлак, так и обратно.

Фотографировали капли по расплавлению металла через каждые 10 мин., беря одновременно намораживанием пробы шлака (около 2 г) для определения концентрации серы. Во всех опытах вес капли металла составлял 11 г, а шлака — менялся от 30 до 50 г.

Установление равновесия определялось по постоянному содержанию серы в шлаке. Оно достигалось обычно через 15—20 мин. и совпадало с установлением неизменной формы капли. О величине динамического натяжения судили по единичным фотографиям капель, сравнивая их с последующими равновесными. Фотографии капель увеличивались в ~ 6 раз, и

с помощью микрометрической сетки (цена деления 0,1 мм) отыскивались истинные размеры. Относительная ошибка в их определении не превышала 3%.

Необходимые для расчетов значения плотностей жидкого шлака найдены экспериментально ⁽⁶⁾, а для стали брались из справочника ⁽⁷⁾. Опыты показали, что при низком содержании серы в обеих фазах межфазное натяжение на границе железа со шлаком № 1 составляет 650 эрг/см². С повышением концентрации серы статическое межфазное натяжение уменьшается. Качественной иллюстрацией сказанному могут служить фотографии, приведенные на рис. 1 (первый и второй ряд по вертикали). Численные значения

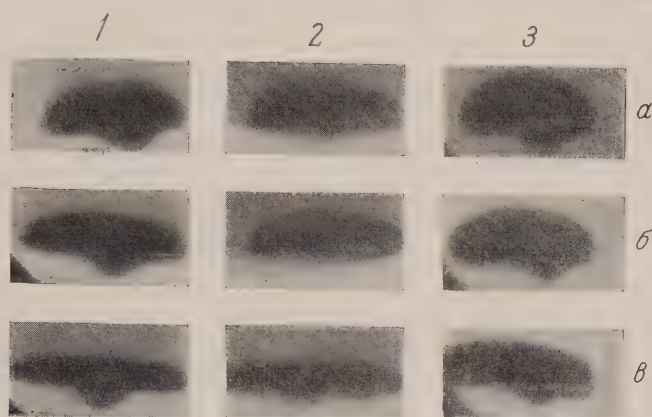


Рис. 1. Изменение формы капли металла с повышением концентрации серы:

	$S_{\text{мет}}$			Шлак
	а	б	в	
1	0,025	0,90	3,4	№ 1
2	0,70	2,0	3,0	№ 1
3	0,025	0,17	0,5	№ 2

зависимости от содержания серы в металле приведены на рис. 2. Концентрации ее в шлаке № 1 были \sim в 1,6 раза меньше.

Когда содержание закисы железа в шлаке незначительно (шлак № 1), межфазное натяжение на границе раздела его с железом ($[S]_{\text{мет}} \approx 0,025\%$) составляет 1015 эрг/см². Это немногим отличается от значения, полученного при других концентрациях CaO, SiO₂ и Al₂O₃ ⁽⁵⁾, и существенно превосходит величину σ для железистого шлака. При введении серы статическое межфазное натяжение закономерно понижается и для доменного шлака (см. рис. 1 третий ряд и рис. 2), достигая при 2% S в металле ($\frac{\sigma}{\sigma_0} \approx 2$) значения 500 эрг/см².

Таким образом, сера существенно понижает статическое межфазное натяжение железа на границе как с окислительным шлаком, так и с доменным. В работе ⁽³⁾ этот эффект не был обнаружен, видимо, потому, что концентрация серы в чугуна была низкой и мало менялась от одного опыта к другому.

Динамические значения $\sigma_{\text{дин}}$ в наших опытах, как и в работе ⁽³⁾, оказались ниже статических. Например, в одном из опытов при переходе из шлака № 2 в сталь $\sigma_{\text{дин}} = 470$ эрг/см², тогда как при равновесии 515 эрг/см². В другом опыте в процессе перехода S в шлак № 1 $\sigma_{\text{дин}} = 0$ эрг/см², а при равновесии 510 эрг/см².

Понижение межфазного натяжения с ростом концентрации S лег понять, если учесть, что сера обладает высокой поверхностной активностью по отношению к границе сталь — газ (^{8,9}). Вытесняясь в поверхностный слой металла, она достаточно прочно связывается с ближайшими катионами шлака, что обуславливает низкие значения σ . Более слабое влияние серы в случае железистых шлаков связано, видимо, с повышенной концентрацией

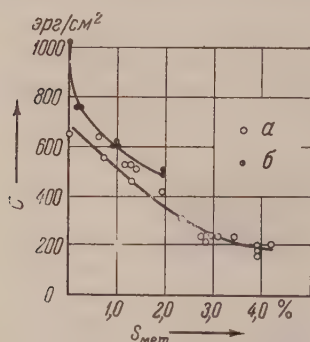


Рис. 2. Влияние серы на межфазное натяжение сталь — шлак при 1530—1570°: а — шлак №1, б — шлак №2

цией кислорода в металле, поверхностная активность которого близка к активности серы (^{8,10}). Концентрируясь в поверхностном слое, кислород частично вытесняет из него серу. Более того, сравнение прочностей сульфидов и окислов позволяет предположить, что связь кислорода с катионами шлака более прочная, чем серы. Отмеченные обстоятельства, а именно вытеснение кислорода в поверхностный слой и более прочная связь его с катионами шлака, обуславливают существенное понижение межфазного натяжения при наличии в металле кислорода и более слабое изменение σ от добавления серы.

В отсутствие равновесия направленного перехода серы через межфазную границу, в действительности, видимо, размывает ее, в связи с чем динамическое натяжение ниже статического.

Отмеченное выше понижение межфазного натяжения с ростом концентрации серы и кислорода указывает на большую термодинамическую устойчивость неметаллических включений в стали при высоком содержании в них серы и закиси железа. Кроме того, адсорбция О и S может существенно изменить величину расклинивающего давления, препятствующую сливанию таких эмульсий (¹¹).

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова, г. Свердловск
Северский металлургический завод
г. Полевское

Поступило
17 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. А. Есин, П. В. Гельд, Физическая химия пирометаллургических процессов, ч. 2, 1954.
- ² С. И. Попель, О. А. Есин, Тр. Уральск. политехн. инст., сборн. 49, 47 (1954).
- ³ Р. Kozakevitch, G. Urbain, M. Sage, Rev. Met., 161 (1955).
- ⁴ С. И. Попель, О. А. Есин, П. В. Гельд, ДАН, 74, 1097, 1955.
- ⁵ С. И. Попель, О. А. Есин, Ю. П. Никитин, ДАН, 83, 253 (1955).
- ⁶ С. И. Попель, О. А. Есин, ЖПХ, 29, 651 (1956).
- ⁷ C. Mellor, Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, 14, part. 2, 1934.
- ⁸ F. A. Hildebrand, W. D. Kingery, J. Phys. Chem., 59, 557 (1955).
- ⁹ Р. Kozakevitch, S. Chetani, G. Urbain, M. Sage, Rev. Met., 52, 139 (1955).
- ¹⁰ Б. В. Старк, С. Филиппов, Изв. АН СССР, ОТН, № 3, 413 (1949).
- ¹¹ Б. В. Дерягин, Изв. АН СССР, ОМОН, сер. хим., № 5, 1153 (1937).

С. А. АРХИПОВ, В. А. ЗУБАКОВ и Ю. А. ЛАВРУШИН

О ЛЕДНИКОВО-ВОДНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В ПРИЕНИСЕЙСКОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 4 VII 1956)

Впервые идея о синхронности покровного оледенения Сибири с транс-
сией бореального моря в пределах Западной Сибири была высказана
873 г. П. А. Кропоткиным ⁽¹⁾. Об этом же в 1949 г. вполне определенно
сказался А. И. Попов ⁽³⁾ на основании установленного им клиновид-
ного сочленения морских и моренных отложений в приенисейском районе,
литологического сходства и других фактов.

В настоящее время наиболее дискуссионным является вопрос о синхрон-
ности на территории Западной Сибири отложений санчуговского гори-
нта бореальной трансгрессии и морены тазовской стадии максимального
леденения ⁽⁶⁾.

Морские санчуговские отложения изучены В. Н. Саксом в низовьях Ени-
сы. Литологически они представлены значительно опесчаненными глинами
суглинками, с крупнокомковатой, оскольчатой структурой, иногда с
огочисленными валунами и галькой в таком количестве, что породы при-
обретают характер морских морен ⁽⁵⁾.

Литологическое сходство санчуговских осадков с моренными образо-
ваниями максимального оледенения подтвердил в 1952 г. С. Б. Шацкий,
позднее и другие исследователи ⁽⁶⁾.

Фауна из санчуговских отложений (*Neaere arctica* G. Sars, *Arca glacialis*
au, *Portlandia lenticula* Möll.), носит относительно глубоководный и
подоводный облик.

Отмечаемый В. Н. Саксом ⁽⁵⁾ мореноподобный облик санчуговских осад-
ков позволил ему в 1939 г. предположительно синхронизировать их с оле-
дением прилегающих к Таймырской депрессии возвышенностей. Впо-
следствии он отказался от этого вывода и стал объяснять скопление валунов
описываемых осадках размывом отложений максимального оледенения.
Ледниковые образования приенисейского района изучались в послед-
нее время группой сибирских геологов. На основании этих работ С. Б.
Шацкий ⁽²⁾ выделил второе среднее — тазовское оледенение и межледниковый
артинский ярус. Исследования, проводившиеся в течение 1954—1955 г.
в приенисейской части низменности на участке от р. Дубчеса до р. Курейки,
свели авторов, независимо друг от друга, к выводам, подтверждающим в
общем мнение А. И. Попова ⁽³⁾.

Долина Енисея на участке ниже устья Подкаменной Тунгуски приуро-
чена к выделяемой авторами Енисейской депрессии, активно развивавшейся
в четвертичное время. Верхняя (тазовская) «морена» в южной части депрес-
сии представлена тонкоотмученными илами черно-сизого цвета, сохранив-
шими местами горизонтальную слоистость, содержащими песок и гравий,
валуны и плохо окатанную гальку. Севернее отложения этого горизонта
представлены обычно суглинком буровато-коричневого цвета, крупно-
комковатым с оскольчато-щебневатой структурой. В суглинке содержится

значительное количество валунно-галечникового материала. В породе редко содержатся линзы песка, имеющего тонкую горизонтальную слоистость. Местами и в самом суглинке видна неясная слоистость. Тесная связь отложений этого горизонта с осадками водного ряда отмечена во многих обнажениях по рр. Енисею, Н. Баихе и Турухану, где в толще «морены» наблюдается хорошо выраженная горизонтальная слоистость. Содержание кластического материала в отложениях горизонта крайне незначительно и уменьшается по разрезу в направлении сверху вниз, а в отложениях некоторых разрезов валуны совсем отсутствуют. Наблюдаются случаи постепенного перехода морены в безвалунный, тонкозернистый, значительно глинистый песок зеленовато-коричневого цвета, с отчетливо выраженной горизонтальной слоистостью.

В долине р. Турухана, в 25 км выше устья р. Н. Баихи, в толще тазовской морены с прекрасно выраженной горизонтальной слоистостью содержатся совершенно неокатанные обломки морских моллюсков. По определению М. А. Лавровой, здесь, помимо неопределенных обломков, имеются *Astarte crenata* Gray и *Macoma* sp. (calcareae?). По нашим представлениям генезис описываемых осадков в пределах рассматриваемого района определяется их моренным обликом, наличием морской фауны, тесной связью с осадками водного ряда.

На возвышенных участках, вне пределов Енисейской депрессии, господствовали в это время типично гляциальные условия. В пределах Енисейской депрессии отложения тазовского горизонта, где они содержат бореальную фауну и литологически сходны с санчуговскими осадками, формировались не только за счет размыва отложений максимального оледенения, но и в результате аккумуляции в морском заливе эстуарного типа моренного материала, принесенного сюда ледником, сползавшим широким фронтом со Средне-Сибирского плоскогорья и с восточной окраины Западной Сибири. Южнее широты р. Турухана в пределах Енисейской впадины существовали, по-видимому, водно-гляциальные условия, на что указывает тесная связь отложений тазовского горизонта с осадками водного ряда.

Вывод о наличии единого генетического ряда синхронных друг другу отложений: ледниково-морских, водно-ледниковых и ледниковых имеет большое теоретическое и, особенно, практическое значение при создании унифицированной стратиграфической схемы четвертичных отложений Западной Сибири. К аналогичным выводам пришли Б. В. Мизеров, Г. И. Лазуков и др. ⁽⁶⁾ для иных районов Западной Сибири.

Поступило
20 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Кропоткин, Зап. Русск. геогр. общ. по общ. географ., **3** (1873).
² А. И. Москвитин, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1954). ³ А. И. Попов, Вопросы географии, сборн. 12 (1949). ⁴ В. Н. Сакс, Тр. Арктич. инст., **201** (1948).
⁵ Н. В. Сакс, Тр. Горно-геол. упр., в. 16 (1945). ⁶ Тез. докл. межведомств. совещ. по разработке унифицир. стратиграфич. схем Сибири (секция четвертичной геологии), 1956.

Ю. М. ВАСИЛЬЕВ

**ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КУНГУРА СЕВЕРНОГО
ПРИКАСПИЯ В СВЯЗИ С ХАРАКТЕРОМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО
ОБРАМЛЕНИЯ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

(Представлено академиком С. И. Мироновым 29 VI 1956)

В целях выяснения юго-восточного обрамления Русской платформы геологами кафедры общей геологии Московского нефтяного института под руководством М. М. Чарыгина и М. П. Казакова было проведено изучение фациальных особенностей верхнепалеозойских и, в частности, купоросных отложений Северного Прикаспия.

Анализ имеющегося в настоящее время фактического материала (¹⁻⁴) особенностей последних данных, показывает, что в пределах Северного Прикаспия кунгур выражен пятью фациальными комплексами: 1) терригенно-карбонатным с прослоями сульфатных пород; 2) терригенно-сульфатным с прослоями карбонатных пород; 3) сульфатным с прослоями каменной соли; 4) сульфатным с прослоями карбонатных пород и 5) преимущественно соляным комплексом. Распространение этих комплексов в описываемой области показано на рис. 1.

В Районе, где отложения кунгура наиболее изучены, является Актюбинское Приуралье. Именно здесь имеется возможность не только наблюдать отчетливо все выделенные комплексы, но и последовательность замещения одних комплексов другими. При описании кунгурских образований этого района за основу может быть принята стратиграфическая схема В. П. Пнева, который, опираясь на фаунистические и, главным образом, литологические особенности, расчленил кунгур на три толщи: нижнюю — песчано-глинистую, среднюю — карбонатно-гипсовую и верхнюю — карбонатно-глинистую.

В большей части разрезов тянущейся вдоль Урала зоны выходов кунгура на поверхность нижняя толща кунгура начинается строматолитовыми известняками с полого волнистой текстурой. Только в центральной группе разрезов (р. Синтас, пос. Александровский) эти известняки отсутствуют, а их стратиграфическому положению отвечают гипсы или загипсованные глины. Выше развита мощная песчано-глинистая свита, представленная чередующимися пластами коричневатых-серых глин и мелкозернистых полимиктовых песчаников. Изредка встречаются прослои тонколитчатых глинистых известняков и линзочки гипса. В кучукбаевском разрезе в верхней части нижнекунгурской толщи отмечен 5-метровый слой полимиктового конгломерата. Мощность толщи изменяется в пределах от 90 до 500 м.

Средняя часть кунгура обычно начинается мощной гипсовой пачкой линзовидными прослоями кавернозных известняков. Выше по разрезу располагается песчано-глинистая пачка, местами с прослоями и линзами известняков. Во многих пунктах (рр. Табантал, Борля, Абзал и др.) разрез описываемой толщи завершается бугристо-оолитовыми известняками. Мощность толщи 100—600 м.

Верхняя часть кунгурской толщи представлена глинистой, реже песчано-глинистой серией с прослоями известняков и гипса. Основная масса глин мелкозернистая, зеленовато-серого цвета, с обуглившимися растительными остатками. Мощность 40—250 м.

В целом толща кунгура может быть охарактеризована как терригенно-сульфатный комплекс с прослоями карбонатных пород. Этот комплекс развит вдоль всего западного склона Урала и прослеживается в виде узкой (10—30 км) полосы от р. Б. Ик через Актюбинск, Кандагач до ст. Джурун и дальше на юг.

Исключительно ценные данные получены в последнее время в результате бурения глубоких скважин к югу от р. Эмбы. Здесь в ур. Азнагул под пермо-

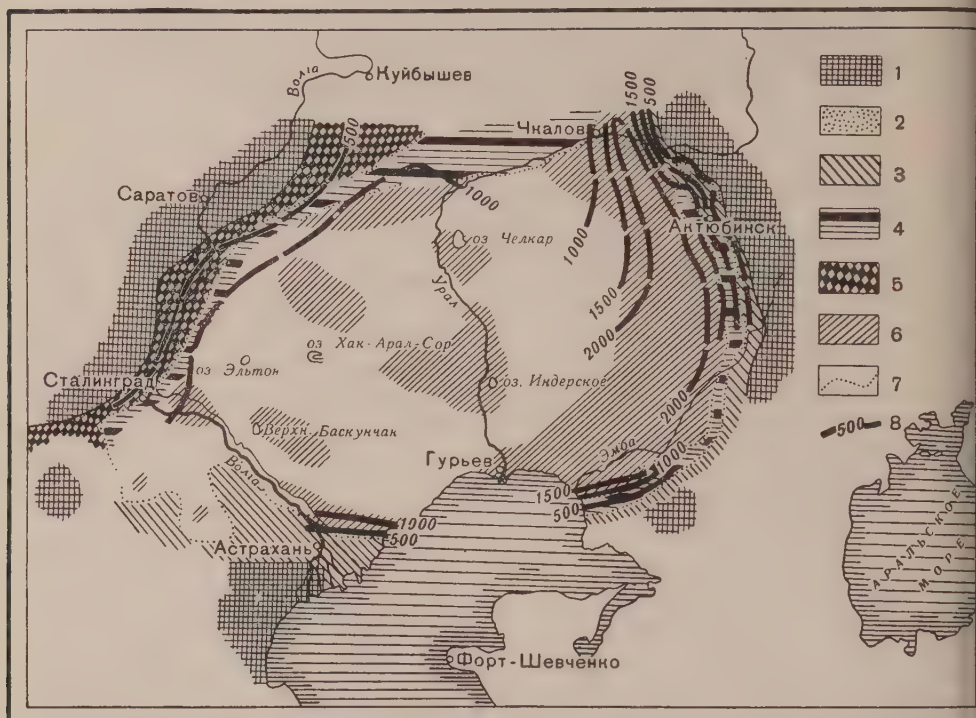


Рис. 1. Схема распределения фациальных комплексов и мощностей кунгура: 1 — области отсутствия кунгура; 2 — преимущественно терригенный комплекс с прослоями карбонатных и сульфатных пород; 3 — терригенно-сульфатный комплекс с прослоями карбонатных пород; 4 — сульфатный комплекс с прослоями каменной соли; 5 — сульфатный комплекс с прослоями карбонатных пород; 6 — преимущественно соленосный комплекс; 7 — границы фациальных комплексов; 8 — линии равных мощностей кунгура через 500 м

триасом вскрыта кунгурская толща, представленная чередующимися пластами ангидритов, известковистых глин, мергелей и известняков. В верхней и нижней частях разреза преобладающей породой являются ангидриты, в средней части заметную роль играют глины, алевролиты и песчаники, достигающие мощности 6 м; здесь же появляются прослои конгломератов.

В описанной толще нетрудно узнать тот же самый терригенно-сульфатный комплекс с прослоями карбонатных пород, который широко распространен в Актюбинском Приуралье. Следовательно, зона распространения этого комплекса простирается значительно южнее ст. Джурун и, обрамляя в виде плавной дуги Прикаспийскую впадину с юго-востока, прослеживается вплоть до восточного берега Каспийского моря. Больше того, на противоположном берегу Каспия, в Астрахани, А. В. Копелиовичем и Я. С. Эвентовым (1, 2) описан разрез кунгура, который с полным основанием может рассматриваться в качестве эталона того же терригенно-сульфатного комплекса с прослоями карбонатных пород.

Разрез кунгура в пределах зоны не постоянный: к востоку он обогащается карбонатным и терригенным материалом, а к западу — гипсами, ангидритами и каменной солью. Так, например, разрезы кунгура в долинах

Ураши и Кучубай, а также в районе пос. Новопокровка отличаются значительным обогащением карбонатами и уменьшением роли сульфатных пород. Характерной особенностью этого комплекса является интенсивное выветривание по всей толще кунгура, особенно в его верхней части, известняков, известняковых песчаников и мергелей. Все это заставляет выделить в названных участках новый — терригенно-карбонатный комплекс с прослоями сульфатных пород.

В западном направлении наблюдается обратная картина: доминирующие породы начинают занимать сначала сульфатные, а затем галогенные породы. В соответствии с этим, вначале может быть выделен сульфатный комплекс с прослоями каменной соли, а далее — преимущественно соляной. Членения первого комплекса по своему характеру являются переходными преимущественно соляному и, занимая промежуточное положение, тянутся в виде полосы параллельно зоне развития терригенно-сульфатных пород. Известны в Актюбинском, Биштамакском, Алгинском и Муртукском районах, а также на Южной Эмбе в районе Карачунгула. В качестве примера может быть приведен разрез кунгура, описанный П. Я. Авровым к сев. от Актюбинска по р. Джусе. Здесь выделяется несколько литологических толщ: внизу преобладают ангидриты с маломощными прослоями каменной соли, выше выделяется свита каменной соли с прослоями мергелистых глин и ангидритов, завершается разрез мергелистыми глинами с прослоями гипса, ангидрита и мелкозернистого песчаника.

Примерно такие же отложения развиты на северном борту Прикаспийской впадины — в бассейне р. Самарки и на водоразделе рр. Камелик и Деркул, а также, по-видимому, вдоль западного борта впадины. В общих чертах литологическая характеристика описываемого комплекса остается прежней, наряду с этим следует отметить и некоторое своеобразие его. Здесь, в значительном удалении от Урала, происходит заметное сокращение объема выветривания грубости терригенного материала: совершенно исчезают из разреза грубые и крупнозернистые разности песчаников, вместо которых преобладает тонкий глинистый материал; заметную роль в верхней части кунгура начинают играть известняки и мергели, слагающие, например на Южном куполе, верхние 70 м. Характерной особенностью следует считать появление в разрезе доломитов в виде как рассеянного вещества, так и целых прослоев.

На западном борту Прикаспийской впадины развит сульфатный комплекс с прослоями карбонатных пород. Этот комплекс развит полосой вдоль долины от Сталинграда до Пугачева и дальше на север. В пределах этой зоны к сев. от г. Камышина пройдено около 400 м серых, бурых и голубовато-серых известняков, доломитов и известняков, обогащающихся кверху тонким глинистым материалом. Несколько севернее, на Иловлинской структуре, вскрыты примерно аналогичная толща несколько меньшей мощности. К северо-востоку от Саратова отложения рассматриваемого фациального комплекса вскрыты целым рядом скважин. Г. Д. Свижер описывает среди них серо-белые плотные гипсы с тонкими прослоями голубоватой глины и прослоями плотного ангидрита. На своде Рахмановской структуры под пермией вскрыта толща серого плотного ангидрита с примесью доломитового материала и тончайшими прослойками темно-серой глины.

В центральной части Северного Прикаспия является областью развития преимущественно соляного комплекса. Границы его распространения определяются главным образом на основании анализа геофизических материалов, а его литологическая характеристика — по данным бурения в тех местах, где оно проводилось. Поэтому соляной комплекс показан на схеме (рис. 1) в виде пятен только там, где для этого имеется фактический материал. Здесь же следует иметь в виду, что полностью разрез кунгура в этой области не пройден и, следовательно, не изучен.

В кунгуре почти везде представлен мощной толщей каменной соли. Соли желтоватая, бледно-голубая или белая, кристаллическая, массивная

или неяснослоистая, главным образом хлорнатриевая с небольшой примесью калийно-магнезиальных соединений, а иногда и боратов. Участками соляная серия, представленная гипсом с прослоями глин, песчаников, загипсованных известняков и доломитов. Это, как правило, экзотрох. Мощности его по сравнению с солью невелика и обычно уменьшается от свода купола к периферии. В целом как на западе, так и на востоке соляной комплекс остается постоянным. Однако при рассмотрении даже того материала, которым мы располагаем в настоящее время, нетрудно заметить на фоне общего постоянства в составе этого комплекса наличие некоторых характерных особенностей. По мере приближения к Уралу и Южно-Эмбенскому подножию количество прослоек и линз терригенного материала в соленосной толще все время увеличивается, да и сам материал становится более грубым и обломочным.

Так, например, вдоль западного борта Прикаспийской впадины (Красноармейск, Ленинск, Новоузенск и т. д.) вскрывается толща чистой, не загрязненной терригенным материалом соли. Далее к востоку, между железнодорожной линией Саратов—Астрахань и р. Уралом, в толще соли появляются тончайшие пропластки глинистого материала. В южной и юго-восточной части описываемой территории (Новобогатинск, Черная Речка, Макаев, Джаманагач) в разрезе кунгура появляются прослои песчаников, конгломератов и кварцевых галечников. Все это указывает на приближение к источнику сноса, который питал обломочным материалом Северо-Каспийскую область прогибания.

Описанный характер смены фациальных комплексов и изменение их состава с запада на восток свидетельствует о том, что в кунгурское время главный источник сноса располагался в пределах складчатого Урала, причем не только современного Урала, но и его бывшего продолжения к юго-востоку от Южно-Эмбенского поднятия и к югу от г. Астрахани. Свидетельством этому служит установленная к югу от р. Эмбы такая же последовательность в пространственном размещении и изменении состава фациальных комплексов, как и в непосредственной близости от Южного Урала. Этот вопрос представляет особый интерес, так как развитые здесь комплексы характерны для образований передовых прогибов и в частности для более северных участков Предуральяского прогиба.

Сопоставляя выводы о пространственном размещении фациальных комплексов с данными по распределению мощностей кунгура (см. рис. 1), трудно прийти к заключению, что Предуральский передовой прогиб, образуя в виде плавной дуги Прикаспийскую впадину, продолжался на юго-запад и сливался с передовым прогибом, тянувшимся на восток от Донбасса. Развивался этот прогиб в эпоху герцинской складчатости. Естественно полагать, что и связанные с ними складчатые сооружения, во-первых, являются герцинскими и, во-вторых, располагаются в непосредственной близости от полосы развития терригенно-сульфатного комплекса — к востоку от Актюбинска, юго-востоку от Южно-Эмбенского поднятия и к югу Астрахани. Так же как и передовой прогиб, эти сооружения в виде плавной дуги обрамляют Русскую платформу с юго-востока.

Эти выводы согласуются полностью с представлениями М. П. Казакова, отраженными на его тектонической схеме Северного Прикаспия.

Московский нефтяной институт
им. И. М. Губкина

Поступило
5 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Копелиович, Бюлл. МОИП, отд. геол., 29, № 2 (1954). ² А. В. Копелиович, Я. С. Эвентов, ДАН, 106, № 2 (1956). ³ Ю. А. Косыгин, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1940). ⁴ Ю. А. Косыгин, Пермские соленосные свиты Соляные купола Урало-Эмбенской нефтеносной области, Изв. АН СССР, 2 (1943). ⁵ А. Я. Янин, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1948). ⁶ А. Л. Янин, Бюлл. МОИП, отд. геол., 30, № 5 (1955).

Ф. Г. ГУРАРИ

ГЕНЕЗИС МЕЗОКАЙНОЗОЙСКИХ СТРУКТУР ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 27 VI 1956)

Результаты изучения геофизическими методами, колонковым бурением и скважинами пока еще небольшого количества мезокайнозойских структур юга Западно-Сибирской низменности (районы, расположенные южнее линии Тюмень — Тара — Новосибирск) позволяют отметить следующие характерные черты.

Несмотря на слабую изученность тектоники мезокайнозойского чехла, сейчас устанавливается приуроченность большинства структур 3-го порядка к крупным положительным структурам 2-го порядка — Тобольскому, Славогородскому, Васюганскому и другим валам. Простирающиеся структуры совпадают с простиранием валов, реже секут их кулисообразно.

Мощности отложений мезокайнозоя, как правило, уменьшаются от краев к своду поднятий. Однако коэффициенты изменения мощностей различных возрастных комплексов различны. Мощности отдельных слоев одинаковы и на своде и на крыльях. Известны случаи меньших мощностей толщ на крыле сравнительно со сводом.

В разрезе мезокайнозоя локальных структур периферии юга низменности, примыкающей к палеозойскому обрамлению, палеонтологически наблюдается ряд перерывов в осадконакоплении (отсутствие палеоцена, полное отсутствие коньякского яруса кампана, датского яруса во многих скважинах).

Уменьшение углов падения крыльев структур снизу вверх идет с большой скоростью. Многие структуры отчетливо вырисовываются в виде наклонных поднятий по самым высоким маркирующим горизонтам неогена и даже неогене (Ипатовская, Федоровская, Саратовская, Камышанская и др.). Некоторые структуры имеют замкнутый антиклинальный характер лишь в более низких горизонтах юры и мела. В третичных отложениях им отвечают структурные формы типа структурных носов (Яковлевская, Октябрьская, Воробьевская, Лебяжинская и др.). Отдельные поднятия фиксируются геофизическими методами лишь в самых низких горизонтах мезокайнозоя и совсем не отражены в более высоких горизонтах (палеогеновая).

Для некоторых структур по сейсмическим данным устанавливается наличие поднятия в различных возрастных комплексах отложений (Саргатская, Марьяновская и др.).

Большинство локальных структур расположено в зонах наибольших градиентов изменения гравитационного поля.

Для локальных структур, разбуренных глубокими скважинами (число таких структур еще незначительно) установлено наличие в их ядре выступающего мезокайнозойского фундамента, представленного в одних случаях нормально сложенными породами (Яковлевская площадь), в других — эффузивными изверженными (Октябрьская, Бурлинская, Большеречинская площади).

щад), в третьих — метаморфическими (Ипатовская, Татарская площади). Наличие в разрезах некоторых скважин заметных углов падения пород мезозоя, исчезающих вверх и вниз по разрезу (Омская, Уватская скважины, Саргатская площадь), а также значительное смещение структур отдельных площадях указывают на очевидное существование локальных структур, не связанных с унаследованным структурным планом.

Поисковыми методами выявлено в области Обь-Иртышского междуречья крупное Васюганское поднятие 2-го порядка, четко фиксируемое в третьих отложениях, но расположенное в области глубокого погружения отбрасывающих сейсмических горизонтов юры и нижнего мела.

Приведенные материалы указывают на тесную связь выявленных в мезокайнозое юга Западно-Сибирской низменности положительных структур 2-го и 3-го порядка с активной тектонической жизнью молодой платформы и не позволяют считать их пассивными структурами осадочного происхождения. Для пассивных структур не характерна приуроченность к крупным поднятиям 2-го порядка, тогда как для тектонических структур длительности развития эта связь является не только закономерной, но, по мнению некоторых исследователей, — генетической.

Различная длительность относительного роста не только соседних локальных поднятий, но иногда даже разных частей одной и той же структуры (Саргатская), расположение большинства структур в зонах напряженных градиентов силы тяжести (зоны резкой смены литологического состава пород фундамента), приуроченность положительных магнитных аномалий к сводам ряда поднятий — все это также указывает на связь многих мезокайнозойских структур с наиболее мобильными зонами фундамента, которые явились областями разрядки напряжений, возникавших в процессе сложной тектонической жизни этого участка земной коры.

Следовательно, образование мезокайнозойских платформенных структур 2-го и 3-го порядков на юге молодой герцинской платформы Западно-Сибирской низменности нельзя рассматривать как следствие пассивного облеkania осадками погребенного рельефа; их образование следует считать результатом активного тектонического процесса. Поэтому для выработки методики поисков локальных структур в южной части Западно-Сибирской низменности могут быть с успехом использованы основные закономерности строения и размещения таких структур, установленные в районах восточной Русской платформы.

Поступило
26 VI 1956

Д. П. НАЙДИН и В. М. НЕРОДЕНКО

МАССТРИХТСКИЕ БЕЛЕМНИТЫ УКРАИНСКОЙ ВПАДИНЫ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 4 VII 1956)

обранный в последние годы материал по верхнемеловым отложениям украинской впадины позволяет наметить более детальное, по сравнению с существующим, расчленение маастрихтских отложений.

Нижняя граница маастрихтского яруса проводится нами по появлению мнемелл, скафитов (*Acanthoscaphites tridens* Kner., *Discoscaphites conatus* Sow.) и некоторых других форм, как это было предложено для этой платформы А. Д. Архангельским⁽¹⁾. Подобное понимание объема маастрихта совпадает с представлениями современных польских, шведских и немецких биостратиграфов. К различным стратиграфическим уровням маастрихта Украинской впадины приурочены различные представители рода *Belemnella* Nowak^(2,3,6), которые ранее обычно относились к одному виду *Belemnella lanceolata* Schloth.

В нижней части маастрихтских отложений впадины на Десне, Сейме, в бассейнах левых притоков Сев. Донца (рр. Оскол, Красная, Айдар и др.) распространены своеобразные формы, впервые описанные в 1941 г.⁽²⁾ под названиями *Belemnella licharewi* Jeletzky и *B. desnensis* Jeletzky.

Belemnella desnensis Jeletzky. (рис. 1, 3) — роstr ланцетовидный, в приальвеолярной части очень тонкий; альвеола мелкая ($\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ длины роstra), в поперечном сечении овальная; очень характерно разрушение альвеолярного края, как у актинокамаксов; брюшная щель не сохраняется, роstr очень короткая; первый видимый роstr длинный.

Belemnella licharewi Jeletzky. (рис. 1, 1, 2) — роstr ланцетовидный, толще в задней трети; альвеола узкая, мелкая, но глубже, чем у *B. desnensis*; альвеолярная часть разрушается листочками, как у актинокамаксов, часто наблюдается образование «щели» на спинной стороне (рис. 1, 2 c); брюшная щель короткая; первый видимый роstr длинный, тонкий.

Эти формы, из которых наиболее часто встречается *B. licharewi*, заключены в пласт мела мощностью всего несколько метров, в основании которого содержатся рассеянные фосфориты, а также (редко) ростры *Belemnella langei* Schatzk.

Выше в разрезе начинают преобладать типичные *Belemnella lanceolata* (рис. 1, 4, 5), у которой роstr отчетливо ланцетовидной формы; альвеола глубокая (более $\frac{1}{3}$ длины роstra), с углом альвеолярного конуса 70° ; брюшная щель длинная; первый видимый роstr длинный, тонкий; нарастание роstra идет наиболее быстро в задней части роstra, чем обусловлена ланцетовидная форма взрослого роstra.

Выше основным компонентом фауны белемнелл становится *Belemnella sumensis* Jeletzky^(4,5) (рис. 1, 6), обладающая ростром почти правильной цилиндрической формы, несколько веретеновидной в спинном направлении или слабо конической сбоку; характерны отпечатки кровеносных сосудов в приальвеолярной части брюшной стороны роstra; глубина альвеолы менее $\frac{1}{3}$ общей длины роstra, альвеолярный

угол 17—19°; первый видимый ростр значительно короче, чем у *B. lanceolata*; ростр ростра проходит относительно равномерно во всех его частях.

Наконец, в самых верхних горизонтах маастрихта Украинской впадины наряду с ранее отмеченными *B. sumensis* и *B. lanceolata*, появляется *Belemnella*

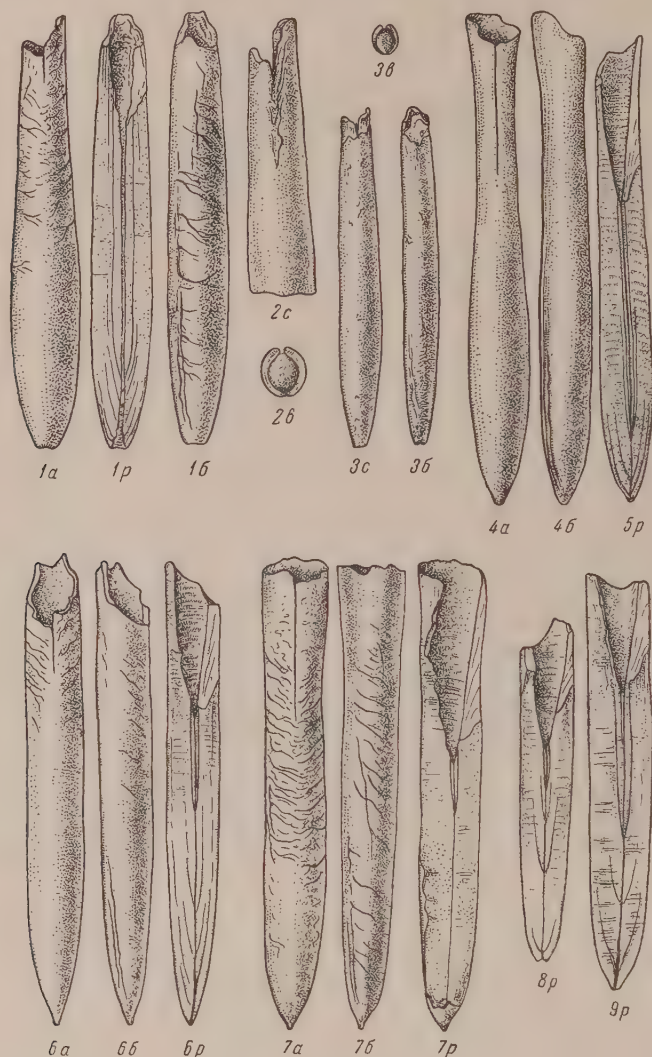


Рис. 1. 1 — *Belemnella licharewi* Jeletzky, н. в., г. Купянск; 2 — то же, н. в., Сватовский р-н; 3 — *Belemnella desnensis* Jeletzky; н. в., отсюда же; 4, 5 — *Belemnella lanceolata* (Sinz.), $\frac{3}{5}$, с. Крымское на Сев. Донце; 6 — *Belemnella sumensis* Jeletzky, $\frac{5}{6}$, отсюда же; 7, 8 — *Belemnella nowaki* Naid., отсюда же; 9 — переходная форма между *B. lanceolata sumensis* и *B. nowaki*, н. в., отсюда же: а — вид с брюшной стороны, б — вид сбоку, в — вид со стороны альвеолы, с — вид со спинной стороны, р — раскол в спинно-брюшной плоскости

nella nowaki Naid. (рис. 1, 7, 8), характеризующаяся цилиндрической формой ростра; резко выраженными на брюшной и боковых сторонах отпечатками кровеносных сосудов; глубокой альвеолой, альвеолярным углом 21—22°; длинной брюшной щелью, основание которой представляет волнистую линию, а конец его расположен на расстоянии 7—9 мм от вершины альвеолы.

го конуса; коротким первым видимым ростром, как у представителей *Belemnitella d'Orbigny*.

Ростры *B. nowaki* в настоящее время найдены в обнажениях у с. Крым-го на Сев. Донце и в окрестностях г. Ворошиловграда.

По-видимому, описанные формы составляют единую ветвь развития рода *Belemnella*. У древних представителей рода первый видимый ростр длинный, изогнутый. У форм из более молодых горизонтов отмечается постепенное сокращение его длины (рис. 1, *1p*, *5p*, *6p*, *9p*, *8p*) и общее изменение характера эволюционного развития ростра; появляются цилиндрические ростры, углубляется альвеола, увеличивается альвеолярный угол, внутренний конец ювального брюшной щели отодвигается от вершины альвеолы, более интенсивно развиты отпечатки кровеносных сосудов и т. д., то есть появляются признаки, характерные для рода *Belemnitella*.

Наиболее резко повторные белемнителловые признаки выражены у *Belemnella nowaki* Naid., а также у *Belemnella arkhangelski* Naid. (= *Belemnitella americana* Arkh.), распространенной в самых высоких слоях маастрихтской платформы, отсутствующих в Украинской впадине.

Таким образом, в маастрихтских отложениях Украинской впадины отмечается следующая восходящая последовательность белемнителл:

1. *Belemnella licharewi* (очень часто), *B. desnensis* (редко), внизу местами также *Belemnitella langei*;
2. *B. lanceolata* (очень часто), *B. licharewi*;
3. *B. sumensis* (очень часто), *B. lanceolata*;
4. *B. nowaki*, *B. sumensis*, *B. lanceolata* (редко).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
30 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Д. Архангельский, Обзор геологического строения Европейской России, Юго-восток Европейской России и прилежащие части Азии, в. 2, 1926. ² Ю. А. Ефремов, Докл. АН УССР, № 2 (1941). ³ Д. П. Найдин, Тр. Моск. геол.-разв. ин-та, 27 (1952). ⁴ J. A. Jeletzky, Neues Jahrb. f. Mineral., Geol. und Paläont., B., H. 9 (1949). ⁵ Die Stratigraphie und Belemniten fauna des Obercampan und Maestricht u. s. w., Beih. z. Geol. Jahrb., H. 1 (1951). ⁶ J. Nowak, Bull. de l'Acad. des Sciences de Cracovie, cl. math.-natur., sér. B, № 6 (1913).

Б. П. СТЕРЛИН и Е. Е. МИГАЧЕВА

О ВОЗРАСТЕ САМЫХ ДРЕВНИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРЫ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ГРАБЕНА

(Представлено академиком С. И. Мироновым 28 VI 1956)

Проводя систематическое изучение стратиграфии и фаций мезозойских отложений северо-западных окраин Донецкого складчатого сооружения и Днепроовско-Донецкого грабена, мы выяснили, что разрез мезозойских отложений названных территорий имеет ряд существенных отличий пространственная приуроченность которых в большинстве случаев совпадает с установленными тектоническими районами этой области ^{(3)*}. Наиболее отчетливо эти отличия проявляются при рассмотрении юрских отложений, что уже было отмечено для отложений верхней юры и верхнего байоса ^(4, 5).

Не менее важные различия имеются и между нижне- и среднеюрскими отложениями Днепроовско-Донецкого грабена, с одной стороны, и зоны сочленения его с Донецким складчатым сооружением — с другой. Так удалось установить, что континентальные отложения нижнего и среднего лейаса, морские осадки верхнего лейаса, нижнего байоса и зон *Strenoceras piortense* и *Garantia garanti* верхнего байоса, широко развитые на северо-западных окраинах Донецкого складчатого сооружения, ограничены в своем распространении на западе линией, проходящей от Ново-Московска на Голубовку, несколько восточнее Краснограда и далее на север между Валками и Харьковом, т. е. линией, совпадающей с западной границей зоны сочленения Донецкого складчатого сооружения с Днепроовско-Донецким грабеном ⁽³⁾.

На составленных И. М. Ямниченко фациально-палеогеографических схемах (1954 г.) морские отложения верхнего лейаса протягиваются далеко на запад от зоны сочленения — почти до Полтавы. Западнее Полтавы, вплоть до Прилук, показано развитие континентальных отложений верхнего лейаса. Отложения нижнего байоса и нижней половины верхнего байоса в морских фациях Ямниченко распространяет на всю Днепроовско-Донецкую впадину (до Киева и западнее).

В действительности, к западу от зоны сочленения, в юго-восточной части Днепроовско-Донецкого грабена, между пестроцветными отложениями триаса и морскими глинами зоны *Parkinsonia doneziana* верхнего байоса располагаются сероцветные песчано-глинистые отложения, сложенные чередованием кварцевых песчаников, серых и темных углистых глин с отпечатками растений, линзами бурых углей. Мощность этих отложений колеблется от 8 до 130 м, составляя обычно 30—50 м.

Указанную континентальную толщу И. М. Ямниченко сопоставляет с литологически сходными отложениями нижнего и среднего лейаса северо-западных окраин Донецкого складчатого сооружения.

1. Определение возраста континентальных отложений основания юры

* В дальнейшем мы будем придерживаться принятого нами тектонического районирования и вытекающих из него названий регионов ⁽³⁾.

Днепро-Донецкого грабена представляется важным потому, что на ряде обнажений здесь структур они являются газоносными. Изучение каротажных диаграмм этого интервала разреза, проведенное для юго-восточной части Днепро-Донецкого грабена совместно с О. Д. Биликом, А. А. Марковым и А. П. Сень, показало возможность стратификации интересующих отложений на четыре пачки, обозначенные сверху вниз буквами А, Б, В и Г. Пачка А представлена глинистыми песчаниками и песчанистыми глинами с прослоями сливных известняков. Она согласно пластуеться с вышележащими глинами зоны *P. doneziana* и с небольшим перерывом залегает на отложениях пачки Б. В отложениях пачки А нередко встречаются морские фораминиферы из родов *Ammodiscus* и *Haplophragmoides* (определения И. Бланка). Последнее обстоятельство в сочетании с указанными условиями залегания пачки А дает возможность относить эти отложения к базальным слоям зоны *P. doneziana*, либо считать их дельтовыми образованиями времени *S. niortense* и *G. garanti*, развитыми в морских фациях к востоку от Днепро-Донецкого грабена. Для окончательного решения этого вопроса материала еще недостаточно.

Пачка Б складывается кварцевыми песчаниками с обугленным растительным остатком. В нижней ее части наблюдается повышенное содержание углистых включений и прослои бурых углей небольшой мощности. Эти отложения согласно пластуются с нижележащими кварцевыми песчаниками и темными глинистыми глинами, объединенными в пачки В и Г. В южной краевой части грабена в низах пачки Г встречаются иногда гальки пестроцветных пород известняка и даже обломки гранитов докембрийского основания.

Из нижней части интересующего нас разреза Е. Е. Мигачевой были определены отпечатки растений *Laccopteris polypodioides* Brongn., *Pityophyllum Lindströmii* Nath., *Cladophlebis aff. fontainii* Nath.

По заключению Е. Е. Мигачевой *Laccopteris polypodioides* известен в среднеюрских отложениях Крыма и вообще обычен для среднеюрских флор Европы. Его присутствие указывается также в нижнем оолите Англии. *Pityophyllum Lindströmii* — вид, широко распространенный в среднеюрских флорах Европы. На территории СССР он известен из среднеюрских отложений Дальнего Востока и Якутии и верхней юры Сибири. *Cladophlebis fontainii* приводится из юрских отложений Средней Азии. Таким образом, на основании флористических находок возраст вмещающих слоев определяется как среднеюрский.

В спорово-пыльцевом комплексе отложений пачек Б, В и Г споры резко преобладают над пыльцой (соответственно, 63% и 37%).

Споры представлены папоротникообразными и плаунами. Среди папоротникообразных массовое распространение имеют споры семейства *Cyathea* (*Coniopteris aff. jurassica* Bolkh., *C. notabilis* Naum., *Dicksonia glutulosa* (Lk.) Th., споры семейств *Gleicheniaceae*, *Schizaceae* (*Lygodium*, *Aneimia*), *Marattiaceae*.

Пыльца представлена голосеянными и хвойными. Среди голосеянных преобладает семейство *Ginkgoaceae* (*Ginkgo mutabilis* Naum., *G. subminor* (Lk.) Nath.). Пыльца классов *Bennetitales*, *Cycadales* встречается в подчиненном количестве. Хвойные с двумя воздушными мешками представлены родами *Taxodius* и *Pinus*. Имеется также пыльца *Podosamites*.

По заключению Г. В. Шрамковой вышеописанный спорово-пыльцевой комплекс почти тождественен спорово-пыльцевым комплексам из отложений нижней юры близких к нам районов Сталинградского Поволжья.

Учитывая результаты спорово-пыльцевого анализа и определения отпечатков растений, содержащие их отложения, залегающие в основании юры юго-восточной части Днепро-Донецкого грабена, следует считать не ранее нижнего байоса.

Примерно к западу от линии Канев — Смелое литологически сходные континентальные отложения юры, имея в подошве те же пестроцветы триаса, и в юго-восточной части Днепро-Донецкого грабена, перекрываются

уже морскими осадками нижнего келловоя. Возраст их здесь должен определяться в пределах верхи байоса — бат.

Намечаемая таким образом миграция континентальных фаций среднеюры в направлении с юго-востока на северо-запад связана, по-видимому, с особенностями геологического развития Днепровско-Донецкого грабена в юрское время — наличием смещавшихся в пространстве и времени зон относительных поднятий и опусканий, ориентированных меридионально и субмеридионально.

Полученные данные вносят также некоторые коррективы и в существующие представления о Днепровско-Донецкой впадине, как о области осадочного накопления с постоянным расположением в течение юрского периода береговых зон вдоль окраин впадины (1).

Эти данные частично подтверждают наше заключение (4) о преобладающей меридиональной и субмеридиональной ориентировке фациальных зон этого времени для северо-западных окраин Донецкого складчатого сооружения и Днепровско-Донецкого грабена (2).

Украинское отделение Всесоюзного
научно-исследовательского нефтяного
геолого-разведочного института

Поступило
28 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Атлас литолого-фациальных схем Русской платформы, ч. 2, мезозой, 1953. ² Н. Канский, В. П. Макридин, Б. П. Стерлин, Уч. зап. Харьк. гос. ун-та, 13 (1956). ³ И. Ю. Лапкин, Б. П. Стерлин, ДАН, 108, № 1 (1956). ⁴ Б. П. Стерлин, ДАН, 97, № 5 (1954). ⁵ Б. П. Стерлин, ДАН, 104, № 5 (1955).

Г. И. ТЕОДОРОВИЧ

О КЛАССИФИКАЦИИ ПЕСЧАНИКОВ ПО ВЕЩЕСТВЕННОМУ СОСТАВУ ОБЛОМОЧНЫХ ЗЕРЕН И ЦЕМЕНТА

(Представлено академиком Н. С. Шатским 16 VII 1956)

Настоящая статья написана в результате изучения автором палеозойских песчаников Урала, Русской платформы и Минусинского межгорного гряда.

По составу среди песчаных пород намечается три естественных генетических ряда: А) нормально-осадочные, Б) пирокластические, В) смешанные. В работе 1950 г. мы показали целесообразность выделения следующих типов песчаников по составу обломочных зерен: 1) мономинеральные, 2) биминеральные, 3) полиминеральные, 4) полимиктовые. Песчаники ледней группы, как состоящие из явных обломков пород и обломочных минеральных зерен, можно назвать также минерально-петрокластическими. Название полимиктовые песчаники не совсем удачно, так как эти песчаники могут быть продуктами как многократного, так и однократного акта шения. Их правильное именовать смешанными или миктитовыми песчаниками.

При классификации песчаников по вещественному составу необходимо учитывать также характер цемента, который может быть терригенным пелитовым (т. е. состоящим из более химически измененного и тонкоперетертого материала, чем обломочные песчаные (и алевроитовые) частицы) ахемогенным; последний тип цемента может или возникать в процессе цементации, или является аутигенным диагенетическим (периода генеза осадка) или эпигенетическим. Наконец, в цементации песчаников большую роль играет кварц разрастания или, иначе, нарастания — регенеза (изредка аналогичные аутигенные полевые шпаты), создающий весьма крупные кварцитовидные разности песчаников вплоть до кварцитов. Исходя из накопившихся фактических данных и вышеизложенных соображений, может быть предложена следующая классификация песчаников (табл. 1).

Под названием кварцитовидных песчаников объединяются песчаники с цементным, в составе которого существенную — большую роль играет кварцевый цемент разрастания (песчаник-кварциты) или он является явно господствующим (кварцит-песчаники). Это словообразование логично формированию названий: песчаник-алевролит для сильно алевроитового песчаника или алевролит-песчаник для сильно песчаного алевроита.

Необходимо особо остановиться на песчаниках с цементом в основном тонкоперетертого и химически измененного терригенного материала. Среди этих песчаников следует характеризовать — граувакки, аркозы, флиты и туфы (псаммитовые).

Аркозы, как видно из классификационной схемы (см. табл. 1), принадлежат обычно к полиминеральным, а не к полимиктовым или точнее миктитовым песчаникам: они состоят из обломочных зерен кварца (25—75%) и полевых шпатов — калиевых или калинатровых и кислых плагиоклазов (25—75%), отчасти слюд и гидрослюд (5—25%), а иногда также каолинита и большого количества мелких обломков мелкозернистых гранитов, гнейсов и осадочных пород. При значительном содержании обломков метаморфических

ческих и осадочных пород или изверженных пород соответствующий песчаник может быть назван миктитовым («полимиктитовым») аркозом.

Граувакки — распространенный тип миктитовых («полимиктитовых») или минерало-петрокластических песчаников, в типичных случаях зеленовато-серого, серого, темно-серого, серо-зеленого и голубовато-серого цвета; однако известны граувакки желтого, бурого и других цветов. Название граувакки было предложено для типичных зеленовато-серых, темно-зеленовато-серых и серых разностей. Характерная черта граувакк — преобладание в их составе обломков различных пород (от 25 до 90—100%) большей частью изверженных основных или средних, чаще эффузивных и метаморфических, наличие полевых шпатов (до 25%), кварца (до 25%) и слюд (до 25%). При содержании кварца более 25% можно говорить о кварцевых граувакках; аналогично выделяются плагиоклазовые граувакки. В случаях резкого преобладания основных и средних изверженных — особенно эффузивных — пород мы имеем дело с эффузивными граувакками (порфиритовыми, диабазовыми, долеритовыми, мелафировыми и т. п.). Субграувакками, в отличие от американских авторов (понимающих под ними граувакки с относительно небольшим количеством обломков пород), мы называем песчаники граувакковые по составу обломочных зерен, но сцементированные нацело хомогенным материалом.

Аналогично этому субаркозами или аркозовидными песчаниками мы именуем песчаники аркозовые по составу обломочных зерен, но сцементированные нацело хомогенным материалом. Между аркозами и граувакками выделяется промежуточный тип аркозово-граувакковых и граувакково-аркозовых песчаников. Субграувакки американских авторов, т. е. граувакки с 10—25% обломков пород, относятся нами к граувакковидным песчаникам, которые могут принадлежать к различным типам миктитовых песчаников.

Группа кварцевых песчаников, обломочные зерна которых не менее чем на 90% принадлежат кварцу, связана переходными типами с группой субаркозовых песчаников: 1) это — так называемые «олигомиктитовые» или, точнее, калишпато-кварцевые песчаники с резким преобладанием кварца (75—90%) над полевыми шпатами (25—10%); 2) калишпато-кварцевые песчаники со значительным содержанием калишпата и хомогенным цементном названы нами аркозовидными — это были биминеральные субаркозы.

Туфами (псаммитовыми) мы именуем обычно литифицированные вулканические туфы в основном псаммитовой размерности, а именно литифицированные вулканические (пирокластические) пески, т. е. чисто пирокластические песчаники.

Вообще среди вулканических туфов и туффитов, помимо обычного их деления по составу обломков (на порфиритовые, андезитовые и т. п.), следует различать разности по размеру преобладающих пирокластических частиц, а именно: а) вулканический пепел ($d < 0,01$ мм), переходящий при литификации в пепловый туф или пелитовый (алеврито-пелитовый) туффит; б) вулканический алеврит (0,01—0,1 мм) → алевротуф и алевритовый туффит; в) вулканический песок (0,1—2 мм) → псаммотуф и псаммитовый туффит; г) вулканический песфит ($d > 2$ мм) → псефотуф и псефитовый туффит; д) вулканический агломерат (псефит + др. фракции) → аглотуф и агломератовый туффит.

Туффитами и туффитовыми песчаниками мы, следуя М. С. Швецову, именуем породы с преобладанием (туффиты — более 50% и до 75—90%) или значительным содержанием (туффитовые песчаники — 10—50%) пирокластического материала.

В зависимости от того, как проводить границу между туффитами и туфами около 90 или 75% пирокластического материала*, резко меняется соот-

* Необходимо отметить трудности, возникающие нередко при определении процентного содержания пирокластического материала в литокластических туфах (некоторые авторы относят их даже к туффитами).

Группы по вещественному составу обломочных зерен	Генетические ряды			
	нормально-осадочные песчаники (А): пирокластического материала менее 10%	пирокластически-осадочные песчаники (Б)	пирокластические псаммиты или псаммитовые туфы; обычно с туфогенным цементом, иногда и кремнистым или глинистым (В)	
1а. Мономинеральные песчаники (обломочные зерна окатанные или полуокатанные)	А. Кварцевые а) кварциты б) кварцитовидные песчаники в) с обычным кремнистым цементом г) с обычным некремнистым цементом 1) карбонатным (и т. п.), 2) глинистым д) со смешанным цементом Б. Кварцевые, с незначительной, но заметной примесью (до 5—10%) других минералов (полевых шпатов, слюд и т. п.) а) кварцитовидные б) с обычным кремнистым цементом в) с некремнистым (карбонатным, глинистым) и смешанным цементом			Псаммитовые витротуфы Псаммитовые кристаллотуфы (?) (редкие)
1б. Мономинеральные монопирокластические песчаники	В. Известняковые (доломитовые) песчаники или обломочные песчаниковые известняки (доломиты)			
	С хемогенным цементом (обломочные зерна большей частью полуокатанные)	Главным образом с терригенным и обычно слабо развитым цементом (обломочные зерна большей частью или частью угловатые)		
	Г. Силицилитовые (зерна могут быть и угловатые)	Силицилитовые (зерна могут быть и угловатые)		
2. Биминеральные песчаники (обломочные зерна окатанные или полуокатанные)	А. Калишпато-кварцевые с резким преобладанием кварца (75—90%) а) кварцитоподобные (субаркозы Петиджона) б) с обычным цементом Б. Калишпато-кварцевые (аркозовидные песчаники или биминеральные субаркозы) а) кварцитоподобные (субаркозы Петиджона) б) с обычным цементом В. Слюдисто-кварцевые а) мусковито-кварцевые б) биотито-кварцевые Г. Глауконито-кварцевые	Калишпато-кварцевые с терригенным и частью терригенным слабо развитым цементом при значительном содержании калишпата — аркозы биминеральные		Псаммитовые витротуфы (редкие) Псаммитовые кристаллотуфы
3. Полимнеральные песчаники (обломочные зерна большей частью полуокатанные или угловатые)	Субаркозы или аркозовидные песчаники (калишпаты [и кислые плагиоклазы, цемент — частью кварц разрастания]) а) полешпато-кварцевые б) кварц-полешпатовые в) слюдисто-полешпато-кварцевые г) слюдисто-кварцево-полешпатовые Мусковито-биотито-кварцевые Глауконито-полешпато-кварцевые Другие	Аркозы (калишпаты и кислые плагиоклазы) а) полешпато-кварцевые б) кварц-полешпатовые в) слюдисто-полешпато-кварцевые г) слюдисто-кварцево-полешпатовые Мусковито-биотито-кварцевые Другие	Туфитовые песчаники (пирокластические от 50 до 10%)	Туфиты (пирокластические более 50%) I. Псаммитовые кристаллотуфы (кристаллокластические) а) кварц-полешпатовые б) пироксено (амфиболобиотито)-плагиоклазовые в) пироксено-плагиоклазовые II. Псаммитовые витрокристаллотуфы а) витроплагиоклазовые б) девитроплагиоклазовые III. Псаммитовые витротуфы(?)
4. Миктитовые («полимиктовые» или минерально-пирокластические песчаники (из обломков различных горных пород и минералов разной степени окатанности, но в большей или в значительной части полуокатанных или угловатых))	I а) субаркозы миктитовые II б) субграувакки кварцевые в) субграувакки (собственно) типичные г) субграувакки плагиоклазовые д) субграувакки эффузивные III е) эффузивно-плагиоклазовые песчаники ж) эффузивно-полешпато-кварцевые песчаники IV з) силицито-полешпато-кварцевые песчаники и) силицито-кварцевые и кварцево-силицилитовые песчаники к) силицилитито-кварцевые и кварцево-силицилитовые песчаники л) силицилитовые песчаники (из обломков различных кварцитов и кремнистых пород) V м) метаморфические миктиты (гл. обр. из обломков метаморфических сланцев) н) субграувакки и другие миктитовые песчаники с примесью пирокластиков до 10% о) другие	I. а) аркозы миктитовые б) граувакково-аркозовые и аркозово-граувакковые песчаники (граувакковидные песчаники) в) граувакки кварцевые г) граувакки (собственно) типичные: 1) изверженно-метаморфические 2) изверженно-осадочные 3) осадочно-метаморфические 4) смешанные д) граувакки плагиоклазовые е) граувакки эффузивные (диабазовые, мелафировые, порфиритовые и т. п.) ж) граувакки эффузивно-плагиоклазовые II з) эффузивно-аркозовые песчаники и) силицито или силицилитито-аркозовые песчаники III к) силицито или силицилитито-кварцево-полешпатовые песчаники л) силицито или силицилитито-плагиоклазовые песчаники м) метаморфические миктитовые песчаники (гл. обр. из обломков метаморфических сланцев) IV н) граувакки и др. миктитовые песчаники с примесью пирокластиков до 10% V о) другие	Туфитовые песчаники 1) туфитовые граувакки 2) туфитовые аркозы 3) прочие туфитовые песчаники	Туфиты 1) граувакковые 2) аркозовые 3) силицилитовые или силицилитовые и т. п. Литокластические и смешанные (частью литокластические) псаммитовые туфы а) эффузивно-плагиоклазовые б) эффузивно-витроплагиоклазовые в) эффузивно-девитроплагиоклазовые г) литокластические туфы со значительным участием вулканических выбросов осадочных пород д) литокластические туфы со значительным участием вулканических выбросов интрузивных и метаморфических пород е) прочие — резко смешанные

ние между количеством пирокластических песчаных пород, относимых к другой группе. Собственно или «чистые» пирокластические образцы песчаной размерности следует именовать вулканическими туфами, имея среди них несколько типов: а) витрокластические или стекловатые, исталлические или кристаллокластические туфы; в) литокластические; мешанные туфы, например витрокристаллокластические, кристаллокластические и т. п. Так называемые пепловые туфы состоят из целых мельчайших осколков вулканического стекла, т. е. представляют чисто кластические пелиты или алевитовые пелиты.

В заключение необходимо отметить, что песчаники мономинеральные или биминеральные состоят из окатанных или полуокатанных обломочных зерен, тогда как полиминеральные песчаники сложены обломочными большей частью полуокатанными (при хемогенном цементе), большей частью или в значительной части угловатыми (главным образом при терригенном и слабо развитом цементе). Наконец, миктитовые («полиовые») или минерально-петрокластические песчаники состоят из обломков зерен разной степени окатанности, но в большей или в значительной части полуокатанных или угловатых. Эта группировка отвечает выделению песчаников английскими и американскими авторами, в отличие от наших — с более или менее окатанными зернами, песчаников типа «грит» — озернистых или более мелкозернистых, сложенных угловатыми зернами. Иначе говоря, это так называемые угловатозернистые песчаники (типа «grit»), к которым относится основная масса аркоз, граувак и некоторые другие песчаники.

В нашей классификации не нашло отражения, как мало обоснованное, деление двух групп песчаников — аренитов, содержащих менее 10% глинистых частиц, и вакк, содержащих более 10% глинистых частиц, делают некоторые авторы.

Уфопесчаниками и тому подобными названиями именуют в полевых условиях не только пестрокрашенные вулканические туфы и туффиты, но и уффитовые песчаники.

Институт нефти
Академии наук СССР

Поступило
13 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- П. П. Авдусин, Грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции (петрографические исследования), Изд. АН СССР, 1948. ² В. П. Батурин, по общ. и прикл. геол., 143 (1930). ³ В. П. Батурин, Дополнения к переводу — география осадочных пород Г. Б. Мильнера, 1934. ⁴ В. П. Батурин, Труды ГРИ, в. 55, 1935. ⁵ Т. Н. Давыдова, Г. Ф. Крашенинников, Тр. ВИМС, 9 (1939). ⁶ А. Н. Заварицкий, Введение в петрографию осадочных горных пород, 1932. ⁷ А. П. Лебедев, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 61 (1955). ⁸ В. В. Ляйпич, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1953). ⁹ Г. Б. Мильнер, Петрография осадочных пород, пер. с англ., 1934. ¹⁰ Л. В. Пустовалов, Петрография осадочных пород, ч. 2, 1940. ¹¹ Г. Розенбуш, Описательная петрография, пер. с нем., 1934. ¹² Л. Б. Рухин, Основы литологии, 1953. ¹³ Г. И. Теодорович, Литология карбонатных пород палеозоя Урало-Волжской области, Изд. АН СССР, 1950. ¹⁴ Венхофел и др., Учение об образовании осадков, пер. с амер. изд., 1936. ¹⁵ Т. Шаталов, К рациональному наименованию некоторых осадочных и пирокластических пород, 1936. ¹⁶ М. С. Швецов, Петрография осадочных пород, 2-е изд., 1948. ¹⁷ М. Чумаков, Е. А. Нечаева, ДАН, 106, № 2 (1956). ¹⁸ L. Saeyens, Roches sédimentaires de France, Roches siliceuses, Paris, 1929. ¹⁹ E. C. Dapples, J. Krumbein, L. L. Sloss, Bull. Am. Ass. Petr. Geol., № 10 (1948). ²⁰ E. C. Dapples, W. C. Krumbein, L. L. Sloss, J. Geol., 64, № 4 (1953). ²¹ A. Grainger, Principles of stratigraphy, N. Y., 1913. ²² A. Hadding, The Prae-quaternary Rocks of Sweden, Sandstones, 1929. ²³ P. D. Krynine, J. Geol., 56, (1948). ²⁴ J. Lapparent, Leçons de pétrographie, Paris, 1923. ²⁵ F. J. Petterson, Sedimentary rocks, N. Y., 1950. ²⁶ F. J. Petterson, J. Geol., 62, № 4, Chicago, (1954). ²⁷ H. Williams, F. J. Turner, Ch. M. Gilbert, Petrography, Francisco, 1955.

В. В. МАТИАС и А. М. БОНДАРЕВА

ЛИТИОФОСФАТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 21 V 1956)

При изучении редкометалльных пегматитов на Кольском полуострове В. В. Матиасом и А. Ф. Соседко в 1953 г. был найден неизвестный минерал. Авторами статьи было установлено, что найденный минерал является новым, не описанным в минералогической литературе фосфатом лития, состава $\text{Li}_3[\text{PO}_4]$, названным по своему составу литиофосфатом.

Описываемый минерал обнаружен в центральной части раздува пегматитовой жилы натро-литиевого типа, залегающей в амфиболите. В раздуве наблюдается ясно выраженная зональность. В направлении от краевых пород к центру жилы можно выделить следующие зоны: 1. Краевая зона, сложенная среднезернистым пегматитом кварц-альбитового состава с повышенным содержанием черного турмалина, образующего крупные кристаллы, обычно ориентированные перпендикулярно поверхности разлома жилы. 2. Промежуточная зона, связанная с краевой постепенными переходами. В этой зоне среднезернистый пегматит кварц-альбитового состава включает порфировидные обособления микроклин-пертита и в небольшом количестве светло-зеленый сподумен. Наблюдаемый здесь турмалин приобретает синюю окраску по мере приближения к следующей, центральной зоне. 3. Центральная блоковая зона, сложенная крупными обособлениями рубидийсодержащего микроклин-пертита, включающего прожилки серого кварца. Кроме того, здесь же встречаются светло-розовый сподумен, воробьевит, полихромный и розовый турмалин, поллуцит, лецит, танталит, касситерит и ряд других минералов.

Скопления описываемого минерала приурочены к выделениям светло-розового сподумена и микроклин-пертита центральной зоны.

Литиофосфат — минерал редкий. Он наблюдается в виде мономинеральных обособлений размером до 9×5 см. В форме ограненных кристаллов литиофосфат не встречен. Цвет минерала белый до бесцветного. Цвет литиофосфат приобретает светло-розовую окраску, очевидно, связанную с окраской развивающихся по нему более поздних минералов в частности апатита. Литиофосфат полупрозрачен в толстых сколах и прозрачен в тонких. Блеск стеклянный. Спайность хорошо выражена в одном направлении хуже в другом, угол между направлениями спайности равен 50° . Твердость 4. Удельный вес 2,46. Сингония точно не установлена, но, судя по двум направлениям спайности минерала и прямому его погасанию с направлением спайности, вероятно, — ромбическая. В катодных лучах люминесцирует голубым (циан-бирюзы) светом, в ультрафиолетовых лучах люминесценции не наблюдается.

Оптические свойства литиофосфата. Двуосный, положительный: $2V = 69^\circ$; $2E = 90^\circ$; $N_g = 1,567 \pm 0,002$; $N_m = 1,557 \pm 0,002$; $N_p = 1,550 \pm 0,002$; $N_g - N_p = 0,017$; удлинение положительное.

При изучении шлифов литиофосфата было отмечено, что в нем заключены одновременно гаснущие корродированные зерна монтебразита (рис. 1), неправильной формы зерна кварца и тонкозернистый агрегат, состоящий из мелких кристалликов апатита и развивающийся по литиофосфату.

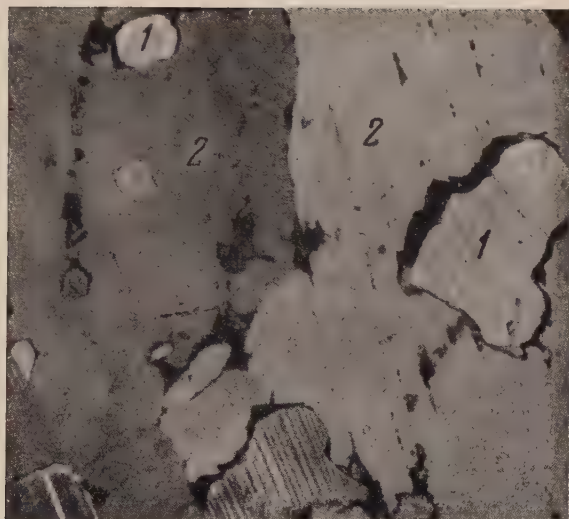


Рис. 1. Реликты монтебразита (1) в литиофосфате (2).
86 ×. Николи +



рентгенограмма литиофосфата, полученная А. П. Денисовым (рентгено-лаборатория Кольского филиала АН СССР) при условиях съемки — типа БСВ-4 неотфильтрованное железное излучение, напряжение 10 кВ, сила тока 10 ма, экспозиция 38 час., $D_k = 65,9$ мм, $D_{обр} = 0,5$ мм, $\lambda = 1,934$ Å, $K_\beta = 1,753$ Å — показала следующие сильные линии (по десятичной оценке их интенсивности): (10) 3,965; (9) 3,794; (8) 3,552; (10) 2,420; (9) 2,311; (9) 1,513; (8) 1,376; менее интенсивные линии: (10) 2,03; (5) 4,382; (7) 3,080; (7) 2,914; (7) 1,780; (5) 1,669.

Спектральный анализ литиофосфата, выполненный Л. Л. Кузнецовым, показал наличие следующих элементов Р, Li — оч. сильн., Mg, Si — средн., Al, Mn — слаб., Na, Fe, V — следы, Ti, Ga, Sn — ничтожные следы.

Как видно, в составе литиофосфата главная роль принадлежит фосфату лития, подчиненное значение имеют примеси магния, кремния, кальция и других элементов.

Результаты химического анализа литиофосфата, выполненного химиком М. Бондаревой, приведены в табл. 1.

В связи с тем, что под микроскопом в литиофосфате наблюдались мельчайшие зерна монтебразита, кварца и апатита, все количество Al_2O_3 , SiO_2 , CaO, занесенное в анализе, пересчитано на монтебразит, кварц и апатит.

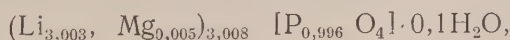
Таблица 1

Химический состав литиофосфата и его пересчеты

В.	Весов. %	Молекулярные количества	Молекулярные количества			Молекул. кол-ва литиофосфата	Атомные количества		Число атомов катионов, рассчит. на 4 атома кислорода
			кварца	монтебразита	апатита		кислорода	катионов*	
	1,14	0,019	0,019						
	0,62	0,016		0,006					
	0,04	0,000							
	0,15	0,004				0,004	0,004	0,004	0,005
	0,88	0,016			0,016				
	0,01	0,000							
	0,05	0,001		0,001					
	37,07	1,244		0,005		1,239	1,239	2,478	3,003
	59,92	0,422		0,006	0,005	0,411	2,055	0,822	0,996
	0,33	0,018			0,002	0,010			
	0,06	0,000							
	0,00								
	0,00								
	следы								
	нет								
	нет								
	нет								
ма	100,27	1,729	0,019	0,024	0,023	1,664	3,298		
ентн. состав герала			1,04%	1,38%	1,33%	96,25%			

$$\text{Переходной коэффициент} = \frac{4}{3,298} = 1,212.$$

Вычитая соответствующие молекулярные количества P_2O_5 , Li_2O и H_2O пересчитывая атомные количества на 4 иона кислорода, получаем следующую эмпирическую формулу литиофосфата:



которая очень близка к формуле $Li_3[PO_4]$.

Ход химического анализа кратко изложен ниже. Из навески 0,5 г обычно путем определялись кремнекислота и окислы железа, фосфора, алюми-

ния, кальция, магния. Из отдельной навески в 0,1—0,2 г определяли окислы лития и фосфора. Для этого навеску растворяли в соляной кислоте и раствор пропускали через колонку с катионитом СБС для отделения фосфат-ионов от катионов. Затем из колонки удалялись хлориды калия, натрия и лития, далее литий экстрагировался амиловым спиртом.

Определение фосфора производилось двумя путями: в первом случае фосфор определялся в фильтрате, полученном после выделения кремниевой кислоты осаждением его молибдатом аммония с последующим переосаждением магнезиальной смесью; во втором случае — осаждением магнезиальной смесью из солянокислого раствора, пропущенного через катионит СБС.

Определение фосфора по второму способу значительно быстрее, чем по первому, при одинаковой степени точности.

Необходимо отметить, что ортофосфат лития уже давно известен как искусственный продукт, в связи с этим интересно сравнить свойства ортофосфата лития и литиофосфата (табл. 2).

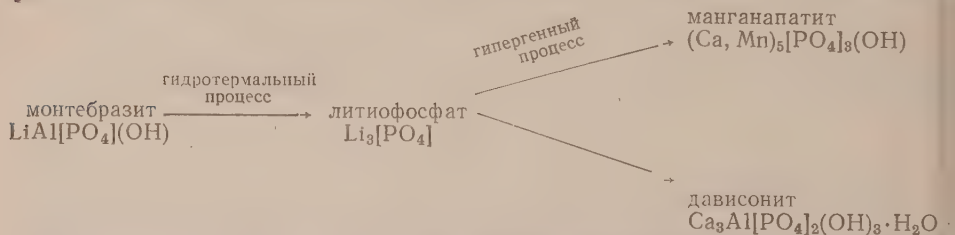
Таблица 2

Свойства	Ортофосфат лития по (1)	Литиофосфат
Удельный вес	2,537 при 17,5°	2,46 при 20°
Температура плавления °С	837	—
Растворимость в воде при 0°	0,022 г на 100 г	плохая
Растворимость в горячей воде	слабо растворим	слабо растворим
Растворимость в сильнейших кислотах	растворим	растворим
Растворимость в ацетоне	не растворим	не растворим
Твердость	не указывается	4
Сингония	ромбическая	ромбическая?
Химический состав	Li ₂ O 38,7%; P ₂ O ₅ 51,3%	Li ₂ O 37,07%; P ₂ O ₅ 59,92%
Показатели преломления	не указываются	$N_g = 1,567$; $N_m = 1,557$; $N_p = 1,547$
Двупреломление	не указывается	$N_g - N_p = 0,017$
2V и 2E	не указываются	2E = 85—90°; 2V = 69°
Люминесценция	не указывается	в катодных лучах голубое свечение (бирюзовое)

Наличие среди выделений литиофосфата реликтов монтебразита, по-видимому, свидетельствует о том, что литиофосфат развивался по монтебразиту, вероятно, в гидротермальную стадию пегматитового процесса.

В гипергенных условиях литиофосфат изменяется и превращается в апатит, регат вторичных продуктов, среди которых установлены розовый манганопатит и, вероятно, дависонит. Апатит образует тонкие корочки, расположенные согласно спайности литиофосфата. При выщелачивании последнего образуется ячеистая текстура.

Схема процессов изменения монтебразита представляется следующей:



За ценные советы по работе приносим благодарность А. И. Гинзбург и А. Ф. Соседко.

Кольский филиал
Академии наук СССР

Поступило
14 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Справочник химика, 2, 110, 1951.

В. Н. ШИМАНСКИЙ

О СЕМЕЙСТВЕ PSEUDONAUTILIDAE HYATT, 1900

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузен 27 IX 1956)

В 1867 г. Пикте (¹⁰) описал из берриасовых отложений Франции крайне образные новые виды наутилоидей: *N. aturoides*, *N. malbosi*, *N. dumasi*, *N. sexcarinatus*. Характернейшей чертой всех видов было сильное расчленение перегородочной линии, образующей отчетливую вентральную и глубокую и широкую латеральные лопасти. В 1868 г. Циттель (¹²), сравнив *N. aturoides* Pictet с формой верхней юры Моравии (*N. geinitzi* Oppel), пришел к выводу об их тождественности. В 1876 г. Меек (⁸) установил новый род *Pseudonautilus*, типом которого он выбрал *N. geinitzi* Oppel. Стойкое удивление, что этот своеобразный род не указан в сводных работах Хайэтта, 1884 и 1894 гг. В работе 1900 г. (⁷) фигурирует целая группа *Nautilida*, объединяющая семейства *Grypoceratidae* Hyatt и *Clydonautilidae* Hyatt. К последнему отнесены *Clymenonautilus* Hyatt, *Clydonautilus* Mojsis., *Hercoglossa* Conrad, *Pseudonautilus* Meek, *Aturia* Bronn. Позднее, в 1927 г., Спет (¹¹) выделил особое семейство *Hercoglossidae*, в него вошли, кроме рода *Hercoglossa*, также род *Pseudonautilus* и новые роды *Pseudoaganides*, *Paraturia*, *Hercoglossoceras* и *Deltoidonautilus*. Одновременно им установлен новый род *Aulaconautilus*, типом которого избран *N. sexcarinatus* Pictet. Однако, этот род отнесен не к семейству *Hercoglossidae*, а к новому семейству *Paracenoceratidae*, включающему, кроме упомянутого, новые роды *Paracenoceras*, *Somalinutilus*, *Heminautilus* и *Tithonoceras* Retowski, 1893.

Оба установленных Спетом семейства прочно вошли в палеонтологическую литературу. Указаны они в сводной статье Флауэра и Куммеля (⁶). Семейство *Hercoglossidae* пополнено родами *Cimomia* Conrad, 1866 и *Dringia* Stenzel, 1940. Кроме того, выяснилось, что *Paraturia* Spath, 1927 является синонимом *Aturoidea* Vredenberg, 1925. В семейство *Paracenoceratidae* включен род *Carinonautilus* Spengler, 1910.

Специальным изучением столь своеобразных родов, как *Pseudonautilus* *aulaconautilus*, почти никто не занимался. Правда, в статье 1953 г., посвященной оригинальнейшему пермскому роду *Permosceras*, Миллер и Колсон (⁹) провели детальное сравнение строения пермских форм с юрским *Nautilus geinitzi*. Авторы также указывают, что к *Pseudonautilus* можно, относятся юрские *N. malbosi* и *N. dumasi*, отличающиеся от типичного вида более простой перегородочной линией.

Действительно, характернейшей чертой перегородочной линии *Pseudonautilus geinitzi* и близкого к нему, но, по-видимому, самостоятельного вида *N. aturoides* является заостренность вентральной и латеральной лопастей. *Nautilus malbosi* и *N. dumasi* как вентральная, так и латеральная лопасти около округлы. Это позволило автору настоящей статьи выделить два последние вида в особый род *Xenochautilus*, упомянутый в качестве нового в реферате Шиманского и Эрлангера (⁵). В литературе указывается, что у *Pseudonautilus geinitzi* на ранних стадиях лопасти также округлы, что говорит о близости *Pseudonautilus* и *Xenochautilus*.

Представители рода *Xenochautilus* известны в СССР. В работе 1907 г. Шиманским (¹) под именем *Nautilus malbosi* описан один экземпляр из Крыма. В 1951 г. под именем *Pseudonautilus malbosi* эта форма описана из неокома Крыма Шиманским (⁴). Как показало дальнейшее изучение

и сравнение крымских представителей с рисунками и описанием настоящего *N. malbosi* Pictet, крымская форма отличается совершенно явственно большей глубиной лопастей. Очевидно мы имеем дело с другим видом, вероятно произошедшим от *X. malbosi*.

Интересно отметить, что и в других группах наутилоидей имеются близкие друг к другу виды, отличающиеся глубиной лопастей перегородочной линии. Так, Руженцевым и Шиманским ⁽²⁾ из нижнепермских отложений Ю. Урала описаны *Metacoceras altilobatum* и *M. kruglovi*, резко отличающиеся от других видов этого рода наряду с другими признаками глубокой вентральной лопастью.

Изучение онтогенеза крымского вида, названного *Xenochailus ulix*, проведенное автором ⁽⁴⁾ позволяет усомниться в близком родстве рода *Xenochailus* с остальными представителями семейства *Hercoglossidae*, так как уже на самых ранних стадиях развития *X. ulix* имеются отчетливые вентральная и глубокая латеральная лопасти. Этим, а также и общей формой юной раковины *X. ulix* очень напоминает взрослых представителей *Proclydonautilus triadicus* Mojs. Возможно, что как *Xenochailus*, так *Pseudonautilus* являются какими-то потомками клидонаутилид. С другой стороны, отсутствие дорсальной лопасти у всех клидонаутилид и большой разрыв во времени существования не позволяет относить *Xenochailus* и *Pseudonautilus* непосредственно к семейству *Clydonautilidae*. В связи с этим Шиманским и Эрлангером ⁽⁵⁾ было установлено семейство *Pseudonautilidae*, куда, кроме *Pseudonautilus* и *Xenochailus*, включен также род *Aulaconautilus*. Семейство *Paracocceratidae*, куда этот род относил Спенсер, является, по-видимому, искусственной, гетерогенной единицей и нуждается в пересмотре. Часть родов должна быть включена в семейство *Nautilidae*, некоторые, возможно, в *Hercoglossidae*, наконец, *Aulaconautilus*—в *Pseudonautilidae*.

До последнего времени этим родом совершенно не интересовались и об объеме его нет точных представлений. Описываемый ниже новый род *A. druzczizi* из нижнего мела Крыма интересен тем, что продольная ребристость у него появляется только на поздних стадиях. Раковина 4—5 см в диаметре, еще совершенно гладкая и по форме почти неотличима от одной возрастной раковины *Xenochailus*. По-видимому в данном случае мы встречаемся с одним из примеров гемеоморфии.

Возможно, что в семейство *Pseudonautilidae* следует включить также род *Platynautilus* Yabe et Ozaki, 1953. Судя по описанию, он наиболее близок к *Aulaconautilus*. Окончательное решение этого вопроса невозможно без более детального знакомства с материалом.

В 1938 г. Рухадзе ⁽³⁾ описал под именем *Pseudonautilus tskaltsitheidensis* очень оригинальную форму из нижнего апта Грузии. По-видимому, этот вид заслуживает выделения в самостоятельный род, не родственник, ни *Pseudonautilus*, ни *Xenochailus*.

Ниже приводится краткая характеристика семейства, *Pseudonautilidae*, автором которого в соответствии с новыми номенклатурными правилами следует считать Хайэтта, употребившего впервые термин *Pseudonautilidae*, хотя и в совершенно другом понимании.

Сем. PSEUDONAUTILIDAE HYATT, 1900

(nom. transl. Шиманский и Эрлангер, 1955 ex. *Pseudonautilida* Hyatt, 1900)

Раковина инволютная дискоидальная, гладкая или с продольными ребрами на вентральной стороне, с высоким округлотрапезиевидным поперечным сечением оборота. Сифон близко к вентральной стороне. Перегородочная линия с узкой вентральной, глубокой и широкой латеральной и воронковидной дорсальной лопастями. Верхняя юра — нижний мел. Включает роды.



Рис. 1. *Xenocheilus ulixis* sp. nov.: *a* — латеральный, *б* — вентральный, *в* — дорсальный вид ($1/2$); Крым, неоком



Рис. 2. *Aulaconautilus druzczici* sp. nov.: *a* — латеральный, *б* — вентральный, *в* — дорсальный вид голотипа ($1/2$); Крым, неоком

и с
щ
б

Pseudonautilus Meek, 1876. Тип рода — *Nautilus geinitzi* Oppel in 1868; верхняя юра Западной Европы. Вентральная сторона равномерно слабо выпуклая, вентральные края широкоокруглые. Раковина гладкая. Вентральная и латеральная лопасти заостренные. Кроме типа, к этому роду относится *Ps. aturoides* из верхней юры Франции.

Xenochelilus gen. nov. Тип рода — *Nautilus malbosi* Pictet, 1867; нижняя юра Западной Европы. Вентральная сторона равномерно слабо выпуклая и уплощенная, вентральные края округлые или отчетливо угловатые. Раковина гладкая. Вентральная и латеральная лопасти округлые. Кроме типа, к этому роду относится *X. dumasi* Pictet из верхней юры Франции и *X. ulixis* sp. nov. из неокома Крыма.

Xenochelilus ulixis Shimansky sp. nov.

(*Nautilus malbosi* Каракаш, 1907, стр. 28, табл. 1, рис. 12; *Pseudonautilus malbosi* Шиманский, 1951, стр. 156, табл. 1, фиг. 1)

Голотип. Каракаш, 1907, стр. 28, табл. 1, рис. 12.

Форма (рис. 1). Раковина среднего размера, инволютная, дискоидальная, с высоким трапецевидным сечением. Первый оборот около 20 мм в диаметре, дискоидальный, с полуовальным поперечным сечением.

Перегородочная линия с глубокой вентральной, широкой и очень глубокой латеральной, едва заметной умбональной, глубокой дорсальной лопастями.

Сравнение. Наиболее близок к описываемому виду *X. malbosi* (Pictet). Основным отличием является значительно большая глубина лопастей у *X. ulixis* (глубина латеральной лопасти у *X. ulixis* равняется $\frac{2}{3}$ ее ширины, тогда как у *X. malbosi* — $\frac{1}{2}$).

Возраст и распространение. Неоком Крыма.

Aulaconautilus Spath, 1927. Тип рода — *Nautilus sexcarinatus* Pictet, 1867; верхняя юра Западной Европы. Вентральная сторона уплощенная с продольными ребрами, вентральные края отчетливые. Вентральная и латеральная лопасти округлые. Кроме типа к этому роду относится *A. druzczici* sp. nov. из неокома Крыма.

Aulaconautilus druzczici Shimansky sp. nov.

Голотип — ПИН № 1191/1; Крым, неоком.

Форма (рис. 2). Раковина среднего размера, инволютная, дискоидальная, с уплощенной вентральной стороной, слабо равномерно выпуклыми боковыми сторонами и овально-угловатым сечением оборота. Вдоль вентральной стороны взрослой раковины имеются 6 продольных ребер. В более ранних стадиях продольные ребра отсутствуют; раковина гладкая, вентральная сторона не уплощенная, а равномерно округлая.

Перегородочная линия неизвестна.

Сравнение. От *A. sexcarinatus* описываемый вид отличается числом ребер (у *A. sexcarinatus* — 8, у *A. druzczici* — 6) и появлением их только на последней камере у совершенно взрослых форм.

Возраст и распространение. Неоком Крыма.

Палеонтологический институт
Академии наук СССР

Поступило
22 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Н. Н. Каракаш, Тр. С.-Петербург. о-ва естествоиспыт., отд. геол. минер., 32, (1907). ² В. Е. Руженцев, В. Н. Шиманский, Тр. Палеонт. инст., 1954). ³ I. Rouchadze, Bull. Inst. Geol. Georgie, 3, f. 2 (1938). ⁴ В. Н. Шиманский, Тр. МОИП, отд. геол., 1 (1951). ⁵ В. Н. Шиманский, А. А. Эрланс, Бюлл. МОИП, отд. геол., 30, № 3 (1955). ⁶ R. H. Flower, B. Kummel, Paleont., 24, № 5 (1950). ⁷ A. Hyatt, in Zittel-Eastman, Text-Book of Paleontology, 1, 1900. ⁸ F. B. Meek, US Geol. Surv.-Terr. (Hayden), Rept. 9 (1876). ⁹ A. K. Pictet, Ch. Collinson, J. Paleont., 27, № 2 (1953). ¹⁰ F. J. Pictet, Paleont., 1, liv. 2 (1867). ¹¹ L. F. Spath, Palaeont. Indica, N. ser., 9 (1927). ¹² A. Zittel, Mus. K. Bayer. Staates, Palaeont. Mitt., 2 (1868).

Х. М. КАРОЛИНСКАЯ

О СПОСОБАХ РАЗМНОЖЕНИЯ КЛЕТОК В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ СЕМЕННИКЕ ЛЯГУШКИ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 27 IX 1956)

До настоящего времени широко распространено мнение о том, что развивающиеся половые клетки могут делиться только кариокинетическим путем. Это положение было введено в науку А. Вейсманом (1). Между тем Ля-Валетт (2) описал деление половых клеток лягушки и других амфибий путем амитоза. Такого же мнения придерживался Нуссбаум (3). Мевес (4) утверждал, что в семенниках саламандры большое значение имеет амитотическое деление. Этого не отрицал и О. Рат (5), хотя он считал, что амитотически образуются только обкладочные или фолликулярные клетки, служащие для питания половых. Амитотическое деление половых клеток описал Чайльд (6). Возможность деления половых клеток амитотическим путем признавали и другие исследователи. С другой стороны, Витши (7) утверждал, что при развитии семенника лягушки амитотическое деление может наблюдаться.

Настоящее исследование было предпринято с целью изучения способов размножения клеток в развивающемся семеннике лягушки.

Приведенные в работе (8) данные изучения семенников незрелых лягушек, у которых амитоз и фрагментация (рис. 1 и 2) встречаются в течение всего года, митозы же — в ограниченный период времени, нельзя считать достаточно точными для утверждения, что амитоз играет важную роль в размножении половых клеток, ибо в этот период идет рост и развитие семенника. Неохотимо было изучить дальнейшую судьбу этих ядер и выяснить, встречаются ли амитоз и фрагментация в семенниках зрелых лягушек.

В развивающейся ткани канальцев семенников сеголеток и двулеток наряду с четко оформленными клетками встречаются много крупных и мелких ядер, ядерных глыбок, лежащих в цитоплазме, не разграниченных на клеточные территории.

Наличие амитотического деления и фрагментации вполне удовлетворительно объясняет наличие мелких ядер и ядерных глыбок различных размеров в недифференцированной еще ткани семенного канальца. Но каким образом появляются ядра на внутренней поверхности семенного канальца, почему эти ядра голые и лишены цитоплазмы, хотя бы на стороне, обращенной в каналец, — этого нельзя объяснить ни митозом, ни амитозом (см. рис. 1, 2). Почему именно эти ядра красятся интенсивнее, чем все остальные ядра при обработке по Фельгену, при окраске азури-II-эозином, метилгрюпиронином и другими красителями. Для всего этого надо искать какое-либо объяснение.

По мере приближения к периоду сперматогенеза неправильной формы ядра, мелкие ядра, ядра на внутренней поверхности канальца округляются, приобретают приблизительно одинаковые размеры, окружаются отчетливым слоем цитоплазмы.

После амитотического и митотического делений в семеннике лягушки редко следует плазмотомия, но в период, предшествующий сперматогенезу

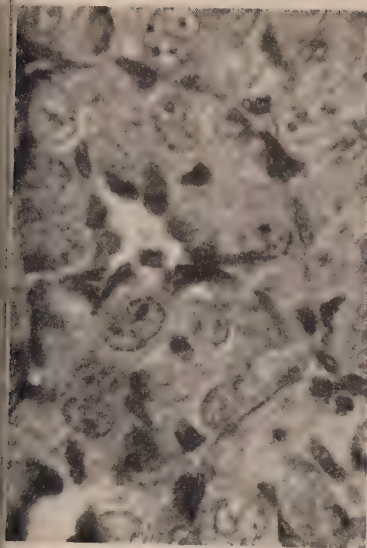


Рис. 1

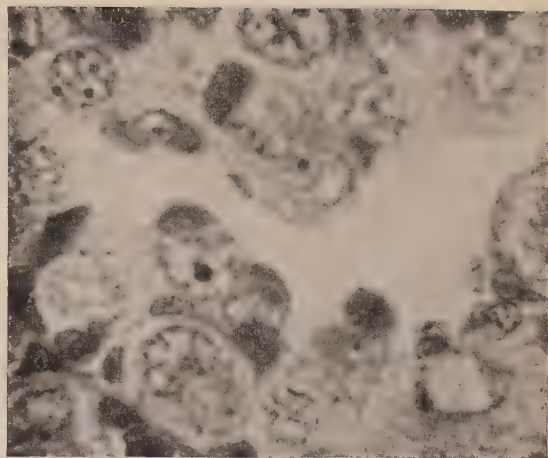


Рис. 2

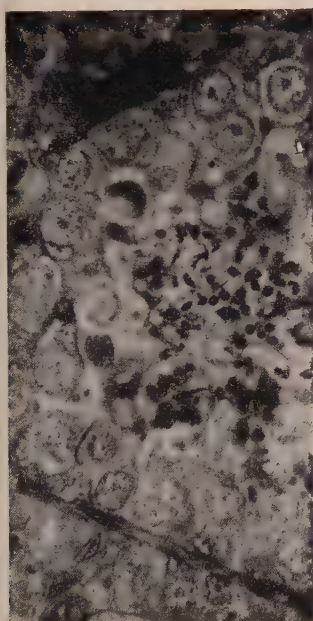


Рис. 3

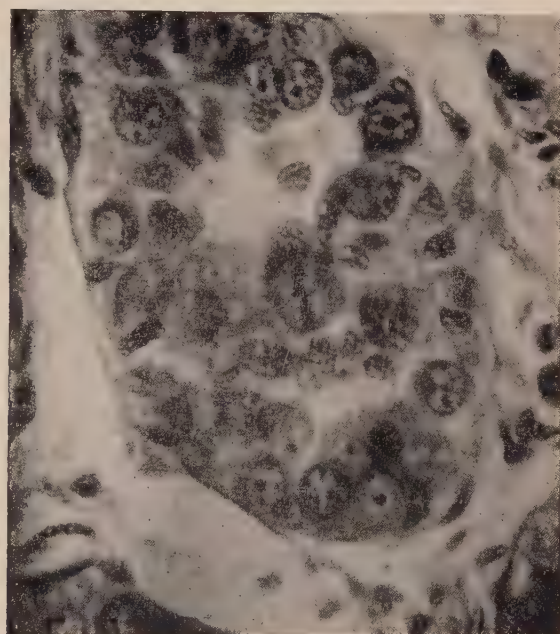


Рис. 4

Рис. 1. Семенник сеголетки. Фиксация по Буэну 3 XI 1952. Толщина 5 μ . Окраска азур-П-эозином. Ок. 7, об. 1/12. На внутренней поверхности канальца много «голых» ядер, видны амитозы

Рис. 2. Семенник двулетки. Фиксация по Васюточкину 20 VI 1952. Толщина 5 μ . Ок. 10, об. 1/12. Резкое увеличение просвета канальца; два митоза, много ядер в стадии фрагментации

Рис. 3. Семенник зрелой лягушки. Фиксация по Ценкеру 18 V 1954. Толщина 10 μ . Окраска железным гематоксилином. Ок. 5, об. 1/12. В просвете канальца комочки из слипшихся головок сперматозоидов

Рис. 4. Семенник зрелой лягушки. Фиксация по Ценкеру 30 V 1954. Толщина 5 μ . Окраска железным гематоксилином. Ок. 7, об. 1/12. Регенерация герминативной ткани; видны амитозы, в центре митоз в стадии метафазы

герминативная ткань разграничивается на клеточные территории и приобретает характер типичного эпителия. Эти наблюдения подтверждают данные С. Кушакевича⁽⁹⁾ о том, что «мелкие элементы» (по Кушакевичу — эпителиальные клетки или парагонии), наряду с клетками, содержащими крупные ядра, при дальнейшем развитии превращаются в половые клетки.

В начале сперматогенеза amitotическое деление прекращается. В условиях Ленинграда этот период начинается в конце июня, в июле. Все клетки эпителизированной толщи канальца превращаются в развивающиеся половые клетки. Только в очень небольшом числе срезов удается найти зрелые клетки, сохранявшие характер эпителиальных. В августе начинается удлиненная регенерация герминативной ткани путем amitоза, иногда фрагментации на внутренней поверхности базальной мембраны. В семенниках нежных лягушек, зафиксированных зимой, герминативная ткань большей частью выражена.

В семенниках лягушек, зафиксированных весной после спаривания, половые клетки еще очень плотно прилегают друг к другу. В них сохраняются в большом числе сперматозоиды, которые расположены «пакетами». В семенниках зрелой лягушки, не участвовавшей в размножении, герминативной ткани в этот период у разных экземпляров варьирует. Во всем слое клетки располагаются в один слой. В 1955 г., когда весна была особенно холодной, у некоторых экземпляров этот слой не был сплошным, а все описываемые процессы оказались сдвинутыми на более поздний срок (на две-три недели). Клеточное строение во всех случаях выражено более отчетливо, чем у сеголеток и двулеток. В июне, когда в семенниках незрелых лягушек появляются митозы, они встречаются и в регенерирующей герминативной ткани, но в небольшом количестве. Попутно в просвете канальцев начинается медленное разрушение сперматозоидов, оставшихся после спаривания. Раньше всего разрушаются их хвостовые отделы, которые образуют аморфную массу. В ней появляется много мелких круглых зернышек недостаточного ясного происхождения, которые постепенно исчезают. Головки сперматозоидов слипаются и образуют неправильные комочки, которые обволакиваются содержимым канальца (рис. 3). Комочки постепенно уменьшаются в размерах, но до конца сохраняются. К концу мая остатки сперматозоидов обычно исчезают. Толща герминативной ткани увеличивается. Просветы канальцев понемногу уменьшаются, уменьшается диаметр всего канальца, благодаря чему канальцы вытесняются отодвинутыми друг от друга (рис. 4). Расстояние между ними уменьшается нежной сетью соединительной ткани. Вдоль центральной части семенника образуется полость, ограниченная петлями канальцев.

Меняется реакция на красители. При окраске срезов озур-эозином в первую очередь теряет эозинофилию аморфная масса. Между тем хорошо известно, что хвосты сперматозоидов лягушек, из которых она образовалась, окрашиваются в ярко-розовый цвет. Комочки слипшихся головок сперматозоидов, даже самые маленькие, окрашиваются в ярко-синий цвет. В дальнейшем и они исчезают, весь препарат окрашивается в однородный серый цвет.

При обработке по Фельгену разрушающиеся головки сперматозоидов окрашиваются до конца ярко-малиновый цвет. Регенерирующая ткань канальца дает слабоуклеальную реакцию. Аморфная масса не окрашивается, иногда приобретает еле уловимую розовую окраску. В этот период срезы канальцев семенника очень похожи на срезы семенников двулеток. Пространства между канальцами, заполненные соединительной тканью, указывают на то, что имеем дело с семенником зрелой лягушки. В семенниках незрелых лягушек канальцы плотно прилегают друг к другу все время.

Повторяются уже описанные картины подготовки к сперматогенезу. Регенерирующая ткань разрастается, снова увеличиваются просветы канальцев. Образуется большое число долек, заполняющих просвет канальцев.

Ядра начинают давать резко положительную реакцию Фельгена. Амитоз прекращаются, наступают массовые митозы. Канальцы переполняются живущими половыми клетками и снова оказываются плотно прижатыми друг к другу. Те исследователи, которые занимались изучением сперматогенеза лягушки в районе Ленинграда, обычно начинали сбор материала не раньше второй половины июня. Следовательно большой промежуток времени (май и первая половина июня) выпадал из их внимания с началом сперматогенеза в семенниках лягушки амитозы кончаются.

Таким образом, амитозы обычно встречаются в семенниках у незрелых лягушек до наступления полового созревания и повторяются каждый раз при регенерации герминативной ткани. Эти данные опровергают мнение Витши о том, что при развитии семенника лягушки амитотическое деление не обнаруживается.

Ленинградский санитарно-гигиенический
медицинский институт

Поступило
21 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Weismann, *Amphimixis*, 1891. ² V. La Valette St. George, *Arch. f. mikr. Anat.*, **12**, 798 (1876). ³ M. Nussbaum, *Arch. f. mikr. Anat.*, **18**, 7 (1880). ⁴ F. Meves, *Anat. Anz.*, **6**, 626 (1891). ⁵ O. Rath, *Zool. Anz.*, **14**, 331 (1897). ⁶ C. Child, *Anat. Anz.*, **25**, 545 (1904). ⁷ E. Witschi, *Arch. f. mikr. Anat.*, **85**, 217 (1914). ⁸ X. М. Каролинская, *ДАН*, **90**, № 4, 669 (1953). ⁹ С. Кушневич, *История развития половых желез у Rana esculenta*, СПб., 1910.

И. И. КИКНАДЗЕ

**ЦИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РИБОНУКЛЕИНОВОЙ
КИСЛОТЫ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЯЙЦАХ НЕКОТОРЫХ
БЕСПОЗВОНОЧНЫХ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 28 III 1956)

Наличие в яйцах животных кроме ядерной, дезоксирибонуклеиновой (ДНК), нуклеиновой кислоты, рибонуклеиновой кислоты (РНК) обнаружили в 1908 г. Левен и Мандель (¹). Особое внимание к РНК развивающихся было привлечено после работ Браше (²⁻⁵), который выдвинул идею возможности превращения РНК в ДНК в ходе дробления яйца. На основании изучения ограниченного числа объектов (в основном иглокожих и амфибий) этот автор выдвинул гипотезу о наличии частичного и полного синтеза ДНК при развитии яиц животных. Частный синтез ДНК основан на использовании в качестве строительного материала для ДНК рибонуклеиновой кислоты, поэтому при развитии яиц увеличение содержания ДНК должно сопровождаться соответственным уменьшением содержания РНК. Частичный синтез, по Браше, характерен для яиц иглокожих, моллюсков, ракообразных и амфибий. При полном синтезе ДНК синтезируется за счет тех-то других соединений. Такой синтез наблюдается у рыб и птиц. Данные Браше подверглись критике уже в первые годы их опубликования (⁶⁻⁸). В ряде более поздних работ также можно найти материалы, противоречащие его гипотезе (⁹⁻¹⁴). Сам Браше (¹⁵) недавно высказал мысль, что его прежнее утверждение о существовании частного синтеза, вероятно, неправильно, однако для окончательного решения этого вопроса необходимы дальнейшие исследования.

В нашей работе изучались представители четырех типов беспозвоночных: кишечнополостных — *Laomedea (Gonothyrea) loveni* Allm. и *Campalana (Opercularella) lacerata* John.; из червей — *Phyllodoce maculata* Ed.; из членистоногих — *Cyclops strenuus* Fisch. и *Daphnia pulex* De Meijere; из моллюсков *Physa fontinalis* L. и *Lacuna vinkta* Montagu.

Для исследования брались яйца последовательных стадий развития — оплодотворения до гастролы. Обнаружение РНК производилось с помощью методики Браше (окраска метиловым зеленым с пиронином по Паппенгейму в сочетании с действием рибонуклеазы; наряду с рибонуклеазой использовалась также 0,5 М трихлоруксусная кислота — 15 мин. 90°). Материал для выявления РНК фиксировался по Карнуа. Изучение РНК в цитоплазме яйцевых клеток с помощью ультрафиолетового микроскопа почти невозможно, так как желток очень сильно поглощает лучи.

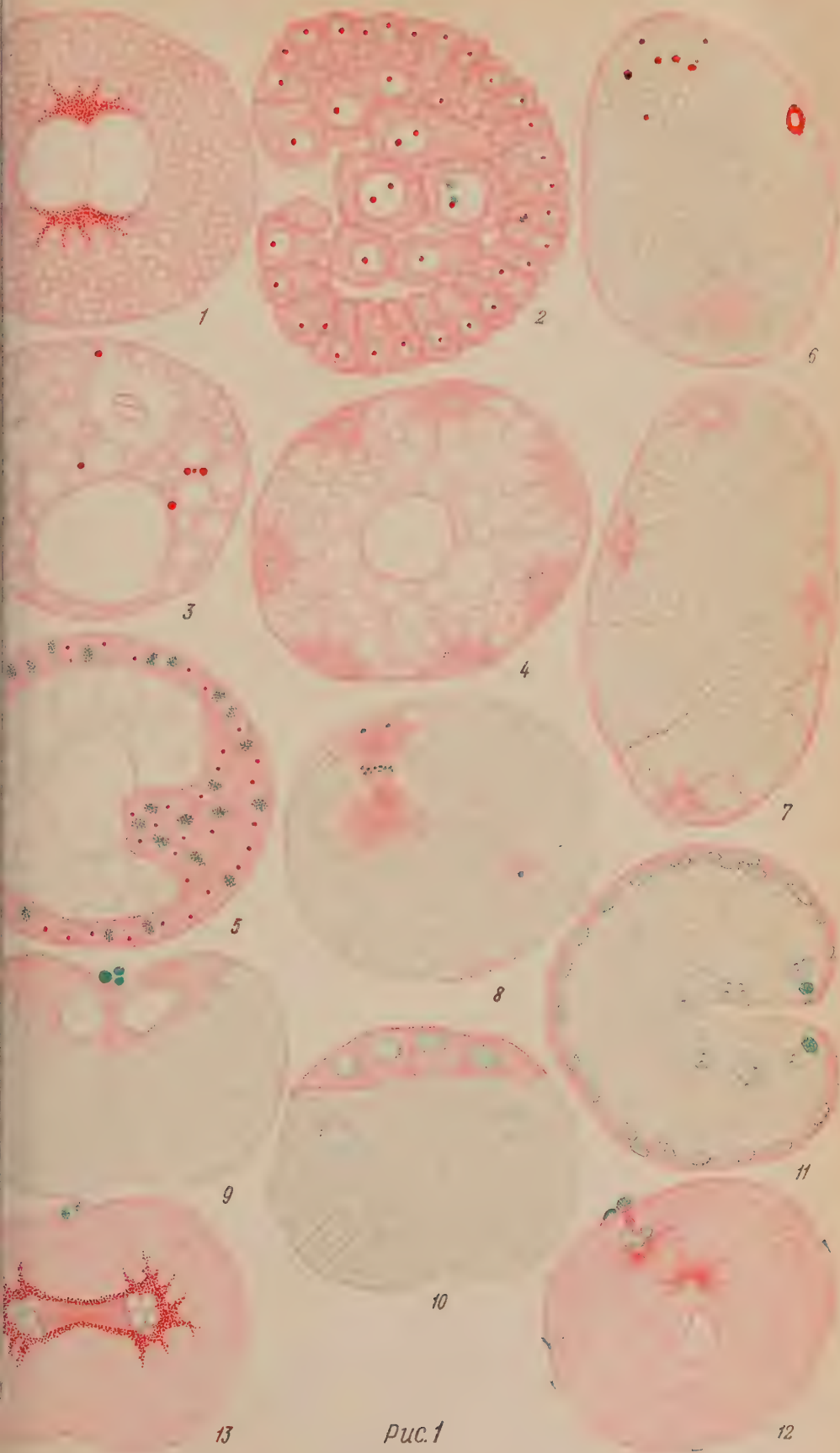
Р а к о о б р а з н ы е. В недавней работе (¹⁶) мною было отмечено, что в яйцах *S. fuscus* Jur. богаты РНК и что в ходе дробления не наблюдается корреляции между изменением содержания РНК и ДНК. Сходные результаты были получены теперь на яйцах *S. strenuus*. В недробящемся яйце пиронинофильное вещество равномерно распределено по всему яйцу, количество его велико (рис. 1, 1). На приведенном рисунке около ядер видно скопление РНК, что служит одним из первых признаков наступающей профазы. При сравнении недробящегося яйца и гастролы (рис. 1, 1 и 2) обнаруживается, что

содержание РНК на яйцо остается практически не измененным. В ряде случаев наблюдалось некоторое уменьшение РНК к стадии 16 бластомеров, но это явление у данного вида не имело закономерного характера. Количество ядрышек в ядрах циклопа меняется в ходе развития. В первых бластомерах содержится 2—3 крупных, бледно окрашивающихся пиронинофильных ядрышка и несколько более мелких, в клетках гастролы имеется 1—2 резких пиронинофильных ядрышка. В ядрах первичных половых клеток гастролы ядрышки всегда связаны с глыбками ДНК, характерными для ядер этой стадии (рис. 1, 2). После обработки рибонуклеазой цитоплазма и ядрышки утрачивают пиронинофильность.

Партеногенетические яйца дафнии богаты РНК. Зернышки РНК располагаются в цитоплазме между желточными включениями. Скопление РНК наблюдается около ядра (рис. 1, 3). На ряде препаратов, помимо мелких зернистостей, содержащей РНК, можно видеть довольно крупные капли РНК, очень сходные с эктосомами циклопа. На стадиях 2—4 бластомеров вокруг ядер конденсируются участки плазмы, содержащей РНК. На последующих стадиях ядра и соответствующие им скопления РНК перемещаются к поверхности яйца (рис. 1, 4). РНК, располагающаяся между желточными зернами, еще сохраняется. На этом этапе можно говорить о нарастании содержания РНК в яйце, так как параллельно с увеличением числа бластомеров растет количество околядерных скоплений РНК. При образовании зародышевых листков РНК сосредоточивается в них. РНК между желточными зернами уже не обнаруживается и располагается теперь лишь в зародышевых листках (рис. 1, 5). Если сравнить между собой начальные этапы развития и стадию закладки зародышевых листков, то об увеличении количества РНК трудно говорить. Практически содержание РНК остается одинаковым, меняется лишь ее топография. В недоразвитом яйце РНК распределена по всему яйцу, а на поздней стадии дробления она сосредоточивается в зародышевых листках. Окраска по Унна — Паппенгейму дает возможность проследить также и за изменениями ДНК, так как метиловый зеленый специфично окрашивает это соединение (результаты те же, что и с реакцией Фельгена). Интерфазные ядра ранних стадий развития совершенно не окрашиваются метиловым зеленым, профазные — дают отчетливую реакцию. В момент закладки зародышевых листков ядра хорошо красятся метиловым зеленым.

В ядрах дафнии, развивающихся с оплодотворением, содержится значительно меньше РНК, чем в партеногенетических яйцах. РНК в гамогенетических яйцах располагается в виде тонкого поверхностного слоя. Иногда этот слой бывает едва заметен. Небольшое скопление РНК наблюдается в области веретена деления созревания. Вокруг амфиноклеуса также наблюдается скопление цитоплазмы, богатой РНК (рис. 1, 6). Часто на вегетативном полюсе яйца встречаются крупные капли РНК, сходные с эктосомами циклопа и каплями РНК в партеногенетических яйцах (рис. 1, 6). Правда, эти капли обнаруживаются лишь на самых ранних стадиях дробления. При дроблении количество РНК, отчетливо возрастает параллельно с увеличением числа бластомеров (рис. 1, 7). При образовании бластодермы закладка зачатка гонад РНК сосредоточивается в них. Таким образом, при развитии яиц дафнии ясно выражен синтез РНК, который идет параллельно общему синтезу ДНК на яйцо.

Рис. 1. Изменения РНК в ходе дробления яиц. 1—2 — *Cyclops strenuus* (об. 40×, ок. 15×): 1 — недробящееся яйцо, 2 — гастрол; 3—5 — *Daphnia pulex* — партеногенетические яйца (об. 40×, ок. 7×): 3 — недробящееся яйцо, 4—16 бластомеров, 5 — закладка зародышевых листков; 6—7 — *Daphnia pulex* — гамогенетические яйца (об. 20×, ок. 10×): 6 — недробящееся яйцо, 7—16 бластомеров; 8—11 — *Lacuna vineta* (об. 40×, ок. 10×): 8 — второе деление созревания, 9—2 бластомера, 10—12 бластомеров, 11 — гастрол; 12—13 — *Phyllodoce maculata* (об. 40×, ок. 10×): 12 — образование пронуклеусов, 13 — телофаза первого деления дробления. Фиксация по Карнуа, окраска метиловым зеленым с пиронином по Унна — Паппенгейму



о л л л ю с к и. Количество РНК в яйцах физы велико, но ее исследование несколько мешает пигмент, содержащийся в яйцах. В недробящемся яйце наблюдается скопление РНК на анимальном полюсе. На вегетативном полюсе глыбки РНК располагаются между зернами желтка и пустотами жировых капель. Тут же встречаются и крупные капли РНК. Содержащийся РНК в яйце физы остается неизменным до поздних стадий дробления. Количество РНК резко повышается в велигере, когда начинается прирост зародышевой массы зародыша. Ядра ранних стадий дробления не окрашиваются метиловым зеленым; на поздних дают окраску.

При применении окраски метиловым зеленым с пиронином к яйцам лакуны дают интересные результаты. В яйце, претерпевающем деление созревания, РНК сосредоточивается только на анимальном полюсе и в области ахроматического веретена. Второе небольшое скопление наблюдается на вегетативном полюсе. РНК содержится и в лучистости сперматозоида (рис. 1, 8). В каждом из двух бластомеров РНК; опять-таки локализуется на анимальном полюсе в области расположения ядер (рис. 1, 9). Часто здесь встречаются большие крупные капли РНК. Интерфазные ядра не окрашиваются метиловым зеленым, в то время как в телофазных ядрах, наряду с хромосомными нитями, в зеленый цвет окрашивается диффузно и ядерный сок.

При образовании микромеров в них переходит РНК (рис. 1, 10). Приложенные наблюдения над яйцами лакуны обнаруживают наличие ободчатой плазмы на анимальном полюсе. При дроблении она попадает в микромеры. В этом случае с несомненностью выявляется аналогия в поведении темной плазмы и теми картинками, которые обнаруживают при исследовании РНК. В макромерах РНК содержится лишь в виде небольших красных «шапочек» около ядер (рис. 1, 10).

На стадии гаструлы РНК сосредоточивается в энтодерме (рис. 1, 11). При окраске метиловым зеленым с пиронином особенно хорошо выступают различия формы ядер энтодермы и эктодермы: ядра эктодермы приобретают почечную форму, в то время как ядра энтодермы становятся амебовидными. Различаются они и по количеству ядрышек. Если в ядрах эктодермы встречаются одно-два ядрышка, то для ядер энтодермы характерно три-четыре ядрышка.

Кольчатые черви. Яйца филлодоце богаты РНК. Пирониновое вещество в виде мелких зернышек равномерно распределено по всему яйцу между желточными включениями (рис. 1, 12). Надо отметить, что для яиц филлодоце характерно наличие индивидуальных колебаний содержания РНК. В одной и той же кладке встречаются яйца с большим и меньшим количеством РНК. При делении яйца не происходит уменьшения РНК в цитоплазме (как это должно быть согласно схеме Браше), хотя количество ее в области веретена увеличивается (рис. 1, 13).

В ходе дробления количество РНК на яйцо остается постоянным. В отдельных случаях наблюдалось уменьшение содержания РНК к стадии бластомеров, но говорить о закономерности этого явления мы не можем. В время гаструляции в клетках энтодермы появляются крупные капли РНК.

Результаты окраски метиловым зеленым подтверждают данные фельдмановской реакции, не выявляя ДНК в ядрах бластомеров на ранних этапах дробления.

К и щ е ч н о п о л о с т н ы е. Малое количество РНК в цитоплазме при гонотиреи наблюдается на протяжении всех ранних стадий дробления. При различных глазом зернышки РНК разбросаны среди желтка. В ядрах бластомеров имеется одно бледно окрашивающееся ядрышко. Резко повышается пиронинофилия ядрышек в паренхиме. Несмотря на то, что количество РНК в цитоплазме в это время лишь немного больше, чем в предыдущих стадиях, паренхимула кажется ярче окрашенной пиронином, что обуславливается сильной пиронинофилией ядрышек.

Значительное увеличение содержания РНК наступает в плануле.

В эктодермальных клетках РНК сосредоточивается в основном в апикальной части — в области расположения ядра. Ядра эктодермы меньше по размеру, чем ядра энтодермы, ядрышки в них также мельче и менее пиронинофильны. Ядра энтодермальных клеток сильнее красятся метиловым зеленым, чем ядра эктодермальных клеток.

Интересно отметить то обстоятельство, что, несмотря на очень слабую пиронинофилию, цитоплазма яиц на всех стадиях дробления интенсивно поглощает ультрафиолетовые лучи. Контрольные съемки в области длин волн 313 и 365 мμ показали, что это явление обусловлено не только поглощением желтка. Такое противоречие между результатами окраски и ультрафиолетовым анализом можно объяснить тем, что и в овоцитах и в бластомерах на первых этапах дробления РНК находится в деполимеризованном состоянии, поэтому она не окрашивается пиронином. Поскольку абсорбция ультрафиолетовых лучей нуклеиновыми кислотами зависит от их азотистых оснований, в первую очередь аденина, то степень полимеризации не оказывает влияния на способность РНК к поглощению этих лучей.

Результаты изучения РНК в яйцах кампанулины таковы же, как и у гонотирей: в дробящихся яйцах РНК мало, но количество ее резко возрастает в плануле.

Обобщая имеющийся у нас материал по ДНК и РНК развивающихся яиц, можно заключить, что поведение этих кислот различно. ДНК ведет себя однообразно в яйцах различной организации⁽¹⁷⁾, количество же и изменение РНК тесно связаны с особенностями организации яиц. На содержание РНК в яйце оказывает влияние количество желтка и активной цитоплазмы. Содержание РНК прямо пропорционально количеству активной цитоплазмы. Локализация РНК также связана с расположением активной цитоплазмы. Яйца, богатые РНК (циклоп, партеногенетические яйца дафнии, физарии, филлодоце), отличаются от яиц, бедных РНК (лакуна, «зимние» яйца дафнии, гидроиды), быстрым темпом дробления.

При дроблении яиц, богатых РНК, количество последней остается до стадии гастролы практически одинаковым. Наблюдаемое иногда снижение РНК на стадии 16—32 бластомеров у циклопа и филлодоце лежит в пределах индивидуальных колебаний. Развитие яиц, первоначально бедных РНК (дафния — «зимние» яйца, гидроиды), сопровождается видимым увеличением содержания РНК. Ни на одном из изученных объектов не удалось наблюдать морфологических картин, говорящих о возможности превращения РНК в ДНК и обратно, как это следовало ожидать, согласно теории Браше. По-видимому, ДНК и РНК имеют самостоятельные пути синтеза.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
17 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. A. Levene, J. A. Mandel, Zs. Physiol. Chem., **49**, № 1 (1906). ² J. Brachet, C. R. Soc. Biol., **108**, № 38 (1931). ³ J. Brachet, Arch. Biol., **44**, № 3 (1933). ⁴ J. Brachet, Arch. Biol., **48**, № 3 (1937). ⁵ J. Brachet, Embryologie chimique Paris, 1944. ⁶ G. Schmidt, Zs. Physiol. Chem., **223**, № 3/4 (1934). ⁷ M. Ghins, Arch. Biol., **45**, № 4 (1934). ⁸ K. C. Blanchard, J. Biol. Chem., **108**, № 1 (1935). ⁹ G. Schmidt, L. Hecht, S. J. Thannhauser, J. Gen. Physiol., **31**, № 3 (1948). ¹⁰ M. Steinert, Bull. Soc. Chim. Biol., **33** (1951). ¹¹ Li Kiao-Hung, J. Bodine, Physiol. Zool., **26**, № 3 (1953). ¹² Л. И. Павлова, Автореферат диссерт., Ленинград, 1951. ¹³ Е. В. Зыбина, ДАН, **88**, № 5 (1953). ¹⁴ И. Г. Питкянен, Автореферат диссерт., ЛГУ (1954). ¹⁵ J. Brachet, Symp. Soc. Exp. Biol., **6** (1952). ¹⁶ И. И. Кикнадзе, ДАН, **100**, № 3 (1955). ¹⁷ И. И. Кикнадзе, Тез. совещ. эмбриологов, Ленинград, 1955.

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Г. М. БЕЛЯЕВ и П. В. УШАКОВ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОННОЙ ФАУНЫ В ВОДАХ АНТАРКТИКИ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 22 X 1956)

Изучение закономерностей количественного распределения морской донной фауны за последние 40 лет широко вошло в практику морских биологических исследований. Наиболее многочисленные данные в этой области получены различными советскими исследователями для ряда морей, омывающих берега нашей страны. Что касается антарктических вод, то, несмотря на то, что фаунистические сборы уже неоднократно проводились в них экспедициями различных стран, закономерности распределения донной фауны в этих водах оставались до сего времени неизученными.

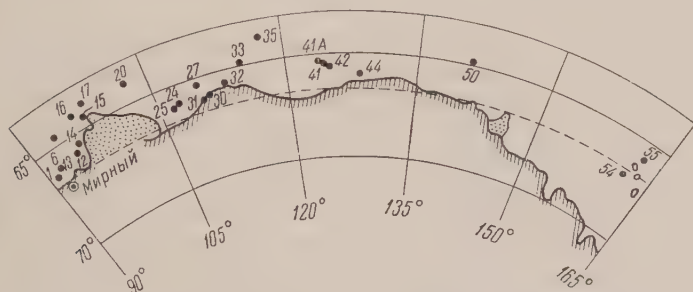


Рис. 1. Расположение и номера станций экспедиционного судна «Обь», на которых были взяты количественные дночерпательные пробы

В период проведения океанологических работ Комплексной Антарктической экспедицией АН СССР на экспедиционном судне «Обь» в антарктических водах (март 1956 г.), в районе, простирающемся от моря Дэвиса до островов Баллени, на 24 станциях (между 64—67° ю. ш. и 91—163° в. д.) были взяты количественные дночерпательные пробы с глубин от 105 до 1000 м* (рис. 1). Пробы брались дночерпателем «Океан-50» с площадью дна 0,25 м². Промывка проб с глубин менее 1000 м проводилась на специальном сите с ячейей 1,2 мм. Пробы с глубин более 1000 м промывались в сетке из шелкового газа № 140, что обеспечивало сохранность даже очень мелких животных (менее 1 мм). Взвешивание животных производилось на корабле после спиртовой фиксации. Обработка собранных материалов** позволила нам выявить некоторые закономерности в вертикальном распределении отдельных групп животных и более общую закономерность, характеризующую изменение суммарной биомассы бентоса в зависимости от глубины местообитания. В табл. 1 приведены фактические данные по

* Глубины менее 100 м в силу специфических ледовых условий, к сожалению, остались неизученными. Литоральная же зона у побережий Антарктиды, насколько мы могли судить, — безжизненна.

Нами произведена лишь количественная обработка проб, так как определить видовой состав фауны на корабле не представлялось возможным.

Биомасса (г/м²) различных групп донных животных в водах Антарктики
(по количественным дночерпательным пробам)

№ станц.	Глубина, м	Губки	Черви	Моллюски	Ракообразные	Мшанки	Иглокожие	Асцидии	Прочие	Общая биомасса
41A	105	2400	50	0,6	—	0,4	42,6	0,4	—	2494
32	190	162	4,6	0,4	0,4	—	14	0,2	1,4	183
30	197	439	75	58	—	374	132	282	3	1363
15	210	9	20	0,6	0,5	3,2	0,8	82	—	116
41	228	117	13	11	0,2	30	1,8	11	—	184
31	330	138	220	0,2	0,1	—	120	0,1	4,4	483
14	397	—	8,8	1,2	8,4	2,4	0,8	16,4	3,2	41
1	420	238	61	39	—	20	4	10	—	372
42	525	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	—	—	—	3,6
25	550	10,8	6,2	0,6	0,3	—	42,5	—	1,6	62
6	760	—	22,5	—	—	—	22,5	—	26	71
24	840	0,8	5,6	0,8	—	0,6	0,4	—	—	8,2
12	910	26	38	0,4	0,8	1,6	0,8	—	—	68
44	1070	0,60	0,60	—	—	—	—	—	—	1,20
17	1999	—	0,04	—	—	—	—	—	0,6	0,64
16	2000	0,08	0,68	—	0,4	0,2	0,2	—	—	1,56
33	2130	0,40	1,00	—	0,4	0,8	0,2	—	—	2,80
27	2160	—	0,40	1,2	—	—	—	—	—	1,80
20	2250	0,32	—	—	—	—	—	—	0,4	0,72
54	2710	0,04	0,32	—	0,09	—	—	—	0,09	0,54
111	2868	0,60	0,42	0,15	0,04	0,08	0,8	—	—	2,06
55	2980	0,02	0,21	—	0,08	—	0,24	—	—	0,55
35*	3150	—	1,20	—	0,20	—	—	—	—	1,40
50	3200	0,19	0,53	—	0,34	—	—	—	0,15	1,21

* При пересчете биомассы для ст. 35 не учтено нахождение в пробе крупного экземпляра эхиурды — бонеллии, весом 3,6 г.

биомассе различных групп донных животных на всех 24 станциях. Уже из этой таблицы видно постепенное падение величины общей биомассы бентоса, при изменении соотношения биомассы различных групп по мере увеличения глубины. Значение губок, как правило, очень велико на глубинах до 420 м. На некоторых станциях (ст. 1, 41A) губки составляли до 96% биомассе. Поверхность грунта здесь была покрыта сплошным войлоком из стеклянных спикул губок, пропитанных илом, подобно тому, как это наблюдается в некоторых районах юго-западной части Баренцева моря (7,8). На больших глубинах значение губок сильно уменьшается. Характерна наибольшая приуроченность асцидий к глубинам 200—420 м и отсутствие их глубже 500 м. Для более четкого выявления этих изменений мы разбили все станции по глубинам на четыре горизонта и вычислили средние показатели биомассы отдельных групп и их процентное соотношение

Таблица 2

Изменение средних показателей биомассы различных групп в зависимости от глубины (над чертой в г/м², под чертой — в процентах)

Глубина, м	Губки	Черви	Моллюски	Ракообразные	Мшанки	Иглокожие	Асцидии	Прочие	Общая биомасса
100—200	1000	43	20	0,1	125	63	94	1,5	1347
	74,2	3,2	1,5	0	9,3	4,7	7,0	0,1	100
200—500	100	65	11	1,8	11	25	24	1,5	239
	41,8	27,2	4,6	0,8	4,6	10,4	10,0	0,6	100
500—1000	7,6	15	0,5	0,4	0,6	13	—	5,6	43
	17,8	35,1	1,2	0,9	1,4	30,5	—	13,1	100
1000—3200	0,20	0,50	0,12	0,14	0,10	0,13	—	0,11	1,3
	15,4	38,4	9,2	10,8	7,7	10,0	—	8,5	100

для каждого горизонта (табл. 2). Из табл. 2 видно, что при общем падении биомассы всех групп бентоса с увеличением глубины относительное значе-

различных групп изменяется по-разному. Кроме уже отмеченного выше уменьшения с глубиной значения губок и отсутствия глубже 500 м идий, выявляется последовательное нарастание с глубиной значения разнообразных и особенно червей. В отношении остальных групп бентоса четко выраженной зависимости не наблюдается. Несомненно, что распределение донных организмов зависит не только от глубины, но и от других факторов (грунты, характер рельефа и т. д.), но предварительная обработка материала в экспедиционных условиях не позволяет пока сделать в этом отношении каких-либо выводов. Отмеченные изменения состава фауны в зависимости от глубины в отношении некоторых групп, видимо, специфичны для антарктических вод. Так, весьма характерно полное отсутствие ракообразных на глубинах до 200 м и незначительное количество и соответственно незначительные как абсолютные, так и относительные показатели биомассы моллюсков на малых глубинах. В северных районах Охотского и Берингова морей, в Чукотском и Баренцевом морях значение биомассы этих групп на соответствующих глубинах много выше (1, 2, 6).

Таблица 3

Изменение общей биомассы бентоса (г/м²) в зависимости от глубины

Глубина, м	Антарктические воды			Сев.-зап. часть Берингова моря
	максимальная	средняя	минимальная	средняя
100—200	2494	1347	183	165
200—500	483	239	41	113
500—1000	71	43	3,6	42
1000—3200	2,8	1,3	0,54	20

Что касается изменения показателей общей биомассы бентоса в зависимости от глубины, то в этом отношении наблюдается вполне определенная закономерность, выражающаяся в резком уменьшении биомассы по мере увеличения глубины (табл. 3 и рис. 2), так же как и в других районах Мирового океана (3—5, 9). Порядок величин для горизонтов до 500 м весьма значителен и говорит о высокой продуктивности прибрежной зоны антарктических вод. Как видно из табл. 3, биомасса на этих горизонтах значительно выше средних показателей биомассы для северо-западной части Берингова моря (по данным экспедиций на «Витязе»).

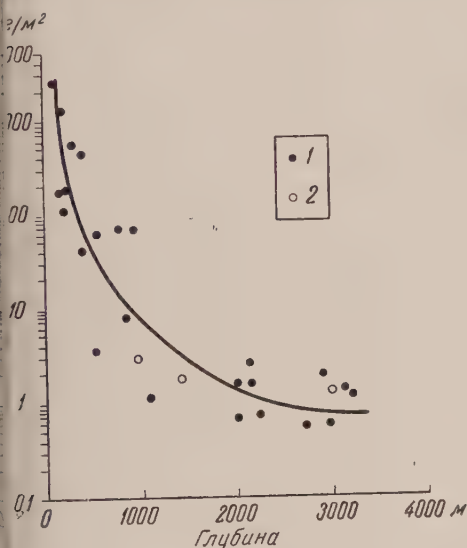


Рис. 2. Изменение биомассы бентоса с глубиной: 1 — в антарктических водах, 2 — у экваториальных побережий Экваториальной Африки по (9)

Такие высокие показатели биомассы характерны и для Баренцева моря (1). Следует, однако, учитывать, что наиболее высокие показатели биомассы в антарктических водах (на глубинах до 500 м) обусловлены, главным образом, пышным развитием здесь формовых групп бентоса (губки, асцидии, мшанки). В горизонте 500—1000 м средний показатель биомассы бентоса резко падает по сравнению с вышележащим горизонтом и уже не превышает

* Наиболее высокие показатели биомассы моллюсков на ст. 30 и 1 (табл. 1) обусловлены наличием в этих пробах единичных крупных экземпляров.

здесь аналогичного показателя для Берингова моря. На глубинах более 1000 м наблюдается дальнейшее значительное снижение величины биомассы бентоса. Следует отметить, что при вычислении среднего показателя биомассы бентоса для горизонта 1000—3200 м ($1,3 \text{ г/м}^2$) нами не учтено нахождение в глубоководной пробе, полученной на ст. 35 (см. табл. 1) одного крупного экземпляра эхиуриды — *Bonellia*, весом 3,6 г. Помимо 11 глубоководных дночерпательных проб, полученных в антарктических водах, во время экспедиции на «Оби» было взято еще 9 дночерпательных проб на глубинах более 1000 м в других районах (субантарктические воды и тропические районы Индийского океана). Во всех этих 20 пробах лишь однажды был обнаружен столь крупный организм. Естественно, что механический пересчет его веса на квадратный метр исказил бы показатель биомассы для данной станции. Если же учесть, что один организм весом 3,6 г дополнительно приходится на 20 станций, то увеличение за счет него среднего показателя биомассы на глубинах более 1000 м выразится величиной около $\frac{1}{4} \text{ г/м}^2$, что существенно не меняет порядка полученного для этих глубин показателя биомассы.

Средний показатель биомассы для горизонта — 1000—3000 м для антарктических вод в 15 раз ниже, чем для Берингова моря. На «Витязе» получен ряд дночерпательных проб с аналогичных глубин из районов Тихого океана вблизи побережья Камчатки и Северной Японии. Все эти пробы также дают показатели биомассы, в 10—50 раз превышающие таковые для антарктических вод. В то же время пробы, взятые экспедицией на «Галатее» у западных побережий экваториальной Африки (⁹), дают показатели биомассы весьма близкие к полученным нами (см. рис. 2). Наличие до сего времени лишь отдельных отрывочных данных о количественном обилии жизни на больших глубинах в столь удаленных друг от друга районах Мирового океана не позволяют пока высказать каких-либо определенных суждений о причинах различий или сходства между величинами биомассы на глубинах в антарктических водах и в других районах.

Что касается кормового значения бентоса антарктических вод, то полученные данные заставляют считать его значительно более низким, чем в большинстве других, изученных до сего времени районах, приуроченных главным образом к Северному полушарию. На глубинах до 400—500 м кормовое значение антарктического бентоса сравнительно низко, в силу относительно малого значения кормовых организмов в общей биомассе, а на глубинах более 1000 м за счет малых абсолютных показателей биомассы. Наиболее близок по своему кормовому значению к другим водоемам бентос антарктических вод на глубинах между 400—500 и 1000 м.

Институт океанологии и
Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
8 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Бродская, Л. А. Зенкевич, Тр. ВНИРО, 4, 5 (1939). ² Н. Г. Виноградова, Тр. Инст. океанол. АН СССР, 9, 136 (1954). ³ Л. А. Зенкевич, Изв. АН СССР, сер. геогр., 4, 26 (1956). ⁴ Л. А. Зенкевич, Я. А. Бирштейн, Г. М. Беляев, Тр. Инст. океанол. АН СССР, 12, 345 (1955). ⁵ М. С. Идельсон, Тр. ГОИН, 3, 4 (1934). ⁶ В. В. Макаров, Исследов. морей СССР, в. 25, 260, 1937. ⁷ П. Д. Резвой, Тр. Инст. по изуч. Севера, в. 37, 67 (1928). ⁸ З. А. Филатова, Тр. ПИНРО, в. 2, 3 (1938). ⁹ R. Sprack, Nature, 168, 112 (1951).

К. В. КОСИКОВ и О. Г. РАЕВСКАЯ

К ВОПРОСУ О ПРИСПОСОБЛЕНИИ ДРОЖЖЕЙ К СБРАЖИВАНИЮ САХАРОЗЫ

(Представлено академиком А. И. Опариным 28 IX 1956)

Одним из нас ^(1,2) было установлено, что при длительном культивировании дрожжей *Saccharomyces globosus* на среде с сахарозой появляются клетки, способные сбраживать этот сахар, т. е. приобретающие новое, не свойственное им ранее качество. При этом оказалось, что такие клетки появляются далеко не во всех опытных культурах. Приспособившиеся к сбраживанию сахарозы клетки устойчиво сохраняют вновь приобретенное свойство при культивировании на различных средах, не содержащих сахарозу, не только при вегетативном, но и при половом размножении (спорообразование). В последнем случае имело место расщепление: две споры из четырехспорового аска обычно давали культуры, сбраживающие сахарозу, а остальные две — не сбраживающие этот сахар, т. е. они вели себя, как исходные. Принимая во внимание данные Юркевича ⁽⁵⁾, не обнаружившего обычными биохимическими исследованиями активности фермента сахарозы у *S. globosus*, автор объяснил возникновение способности сбраживать сахарозу новообразованием фермента сахарозы.

Недавними исследованиями Опарина, Гельман и Эльпинера ⁽³⁾ в экстрактах из клеток *S. globosus*, подвергнутых действию ультразвуковых волн удалось обнаружить в очень небольшом количестве инвертазу. При этом были подтверждены данные Юркевича о том, что в интактных клетках и при непродолжительном их автолизе активная инвертаза отсутствует. Появление же инвертазы в результате воздействия ультразвуком можно объяснить либо высвобождением ее из стабильных комплексных соединений протоплазмы, где гидролитическая активность этого фермента в процессе роста и размножения клеток полностью подавлена, либо образованием ее из какого-то предшественника, превращающегося в активный фермент в процессе разрушения и автолиза клеток.

Придерживаясь первого предположения, Опарин, Гельман и Жукова ⁽⁴⁾ задались целью выяснить вопрос о количественных соотношениях активного фермента в дрожжах, обнаруживаемого при воздействии на клетку ультразвуковыми волнами, с таким же ферментом, образующимся в процессе биологического приспособления дрожжей к определенным субстратам — источникам питания. Решая этот вопрос, авторы в первую очередь сравнили активность инвертазы в дрожжах после воздействия ультразвука с таковой в культурах, приспособившихся к сбраживанию сахарозы. Оказалось, что в клетках, ранее приспособленных к сбраживанию сахарозы, но выращенных при отсутствии в среде этого сахара, активность инвертазы была в 20 раз больше, чем у исходных, не приспособленных. При этом в приспособленных клетках произошли значительные изменения в содержании углеводов.

В настоящем исследовании преследовалась цель выяснить, имеются ли различия в содержании активной инвертазы у дрожжей *S. globosus*, длительное время культивировавшихся на сахарозе, но не приспособившихся к сбраживанию этого сахара, у дрожжей исходных, не культивировавшихся

зла сахарозе — с одной стороны — и приспособившихся к сбраживанию этого сахара — с другой. Поскольку предполагалось, в соответствии с ранее полученными данными, что приспособившиеся к сбраживанию сахарозы клетки гетерозиготны по этому признаку, можно было, кроме того, ожидать различий в активности инвертазы в этих клетках и в полученных от них, через процесс спорообразования, гомозиготных по этому признаку клетках.

Опыт по приспособлению дрожжей *S. globosus* к сбраживанию сахарозы был проведен в бутылках с затворами Мейсля. В каждую из четырех бутылок было помещено по 300 мл среды, содержащей 4% сахарозы, приготовленной на дрожжевой воде. После засева дрожжами бутылки содержались при температуре 26° и ежедневно взвешивались. Через 30 дней в одной из бутылок было отмечено выделение углекислоты и значительное уменьшение веса, что указывало на начавшееся брожение, вызванное появлением в этой бутылке клеток, приспособившихся к сбраживанию сахарозы. В остальных трех бутылках брожения не было.

Из бутылки, в которой было отмечено брожение, было выделено 16 отдельных клеток. При проверке полученных от них культур на способность сбраживать сахарозу только одна сбраживала этот сахар. Культура эта была посеяна на соответствующую среду для спорообразования. Шесть образовавшихся четырехспоровых асков были рассечены с помощью микроманипулятора, а споры изолированы в микрокаплях питательной среды (технику выделения отдельных клеток и рассечения асков см. (2)). В результате было получено 10 культур из одиночных спор. Оказалось, что из них четыре хорошо сбраживали этот сахар, а шесть вовсе не сбраживали его. Для работы были использованы четыре культуры, полученные из одиночных спор одного из шести исследованных четырехспоровых асков. Из них две оказались сбраживающими сахарозу, две — не сбраживающими. Эти четыре культуры были проверены на содержание инвертазы, которая определялась непосредственно в интактных клетках. Содержание инвертазы проверялось также в двух культурах (одной — сбраживающей, второй — не сбраживающей сахарозу), полученных от одиночных клеток из числа 16

Таблица 1

Активность инвертазы в исходных и приспособленных к сбраживанию сахарозы клетках *S. globosus* (в миллиграммах глюкозы на 10 мг прессованных дрожжей. за 60 мин.)

№№ п. п.	Происхождение культуры	Результаты определения *
1	Исходная	0
2	Из отдельной клетки, культивировавшейся на среде с сахарозой, но не приспособившейся к сбраживанию ее	0
3	Из отдельной клетки, приспособившейся к сбраживанию сахарозы	17,0
4	Из отдельных спор четырехспорового аска, образовавшегося из приспособившейся к сбраживанию сахарозы клетки (см. № 3)	
	из 1-й споры	0
	из 2-й споры	0
	из 3-й споры	34,0
	из 4-й споры	34,0

* Было проведено три опыта, каждый со свежими культурами дрожжей. Все они дали одинаковые результаты.

упоминавшихся выше. Контролем служила исходная культура *S. globosus*. Количество расщепленной ферментом сахарозы учитывалось по Бертрану *. Результаты определения представлены в табл. 1.

* Выражаем благодарность Н. С. Гельман и И. Г. Жуковой за проведение данного опыта.

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что активная инвертаза была обнаружена только в тех культурах, которые сбраживали сахарозу. Культура же, полученная из клетки, длительное время культивировавшаяся на сахарозе, но не приспособившаяся к сбраживанию этого сахара, а также две из четырех культур, образовавшихся из спор четырехспорового аска, возникшего из приспособившейся клетки, совершенно не имели активной инвертазы. Они в этом отношении не отличались от исходной культуры *S. globosus*. Следовательно, само по себе длительное культивирование дрожжей *S. globosus* на среде с сахарозой не обязательно приводит к появлению в них активной инвертазы. Дрожжи могут культивироваться на этой среде месяц и более без каких-либо изменений в этом отношении. Более того, даже приспособившаяся к сбраживанию сахарозы клетка дает споры, половина которых образует культуры, не имеющие активной инвертазы.

Как видно из табл. 1, четко выявилось также различие в активности инвертазы у гетерозиготных и гомозиготных по этому свойству культур. Культура, полученная из отдельной клетки, приспособившейся к сбраживанию сахарозы (№ 3), являясь гетерозиготной (поскольку она дала расщепление при половом размножении, № 4), обнаружила в два раза меньшую активность инвертазы, чем гомозиготные диплоидные культуры, полученные из одиночных спор (№ 4, 3-я и 4-я споры). Эти и ранее полученные данные^(1,2) позволяют сделать предположение, что возникающая в клетке способность репродуцировать активную инвертазу связано с биохимическими реакциями и структурами, свойственными гаплоидной клетке.

Удвоение активности инвертазы при слиянии двух гаплоидных клеток, в результате чего образуется диплоидная гомозиготная по этому признаку культура, может быть объяснено тем, что при этом объединяется инвертазная активность двух гаплоидных структур.

Совокупность наших экспериментальных и приведенных литературных данных позволяет заключить, что возникающая у некоторых клеток *S. globosus* способность сбраживать сахарозу под воздействием этого углевода приводит к изменению ферментной системы этих клеток. Это изменение выражается в том, что клетки, не имеющие активной инвертазы, приобретают качественно новое для них свойство — способность вырабатывать активную инвертазу в большом количестве. Приспособившиеся клетки отличаются по этому свойству как от исходных дрожжей *S. globosus*, так и от дрожжей, длительное время культивировавшихся на сахарозе, но не приспособившихся к ее сбраживанию.

Можно считать, что появление активной инвертазы в приспособившихся клетках — это не простой переход неактивной инвертазы или ее предшественника в активное состояние, что, очевидно, происходит при действии на клетки ультразвука, а вызывается резким изменением биохимических особенностей приспособивающейся клетки, связанным с репродукцией активной инвертазы.

Институт генетики
Академии наук СССР

Поступило
2 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. В. Косиков, Тр. Инст. генетики АН СССР, № 19 (1952). ² К. В. Косиков, Генетика дрожжей и методы селекции дрожжевых культур, Изд. АН СССР, 1954.
³ А. И. Опарин, Н. С. Гельман, И. Е. Эльпинер, ДАН, 97, № 2 (1954).
⁴ А. И. Опарин, Н. С. Гельман, И. Г. Жукова, ДАН, 99, № 4 (1954). ⁵ В. В. Юркевич, Диссертация. Инст. биохимии АН СССР, 1950.

П. Х. РАХНО и В. И. ТОХВЕР

О ВОЗМОЖНОСТИ УСВОЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 50° ОТДЕЛЬНЫМИ ПОЧВЕННЫМИ
БАКТЕРИЯМИ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

До настоящего времени о термофильной фиксации молекулярного азота почвенными микроорганизмами известно очень немного. Прингсгейму⁽¹⁾ удалось получить прибыль азота от 3,0 до 6,2 мг на 1 г израсходованной глюкозы при инкубации на безазотистой среде при температуре 61,0°. Прингсгейм применял питательную среду Виноградского с добавлением довольно большого количества почвенной вытяжки. Однако выделить возбудителя процесса термофильной азотфиксации Прингсгейму не удалось. Процесс фиксации азота приостанавливался при наличии в питательной среде до 50% неизрасходованного сахара, что указывает на недостаточно благоприятные условия опытов. Не удалось выделить термофильных азотфиксаторов также и де Круи⁽²⁾ (из ряда тропических почв) и М. Б. Аллен⁽³⁾. Таким образом, термофильный возбудитель фиксации молекулярного азота пока нигде не описан и даже сам процесс термофильного азотоусвоения находится под сомнением.

Мы выделили в марте 1955 г. из промерзшей почвы поля, засеянного озимой пшеницей, в колхозе им. В. И. Мичурина Харьковского района ЭССР бактерию, фиксирующую молекулярный азот. Почва была дерново-карбонатная, с рН (в растворе KCl) 7,54; в 1951 г. она получила навоз, весной 1954 г. — минеральные удобрения (2 ц суперфосфата и 1 ц калийной соли на 1 га).

Выделенная бактерия оказалась термофильной. Сначала она выделялась при температуре в 60° на обычном Эшби-агаре, однако при дальнейших пересевах на ту же среду и при той же температуре перестала расти.

После ряда опытов нам удалось составить для выделенного микроорганизма специальную среду, на которой он развивался вполне удовлетворительно: K_2HPO_4 — 0,24%, KH_2PO_4 — 0,01%, $MgSO_4$ — 0,02%, $NaCl$ — 0,02%, $FeSO_4$ и $MnSO_4$ — следы, неочищенного металла — 0,5%, сахара — от 0,5 до 2,0%, почвенной вытяжки — от 2,5 до 5,0%, дрожжевого автолизата — 1,0% и смеси микроэлементов по Федорову⁽⁴⁾ — 0,1%.

На агаровой среде такого состава развитие выделенной бактерии начинается с появления мелких слизистых колоний. В одно-, двухдневной культуре эти колонии беловатые, прозрачные, слизистые, с круглым основанием, ровными краями, с немного выпуклой поверхностью. Начиная с 2—4 дня колонии разрастаются по всей поверхности, покрывая среду в чашке Петри беловатой, тягучей, прилипающей, вязкой слизью, имеющей несколько неровную поверхность. К этому времени культура немного вьедается в агаровую среду.

Размер вегетативных клеток выделенной бактерии 5—10×0,5—1,2 μ. В молодых культурах клетки более короткие, потом они вытягиваются. Клетки с тупыми и слегка закругленными концами, в молодых культурах (24—48 час.) перитрихально жгутованы и подвижны, склонны к образованию

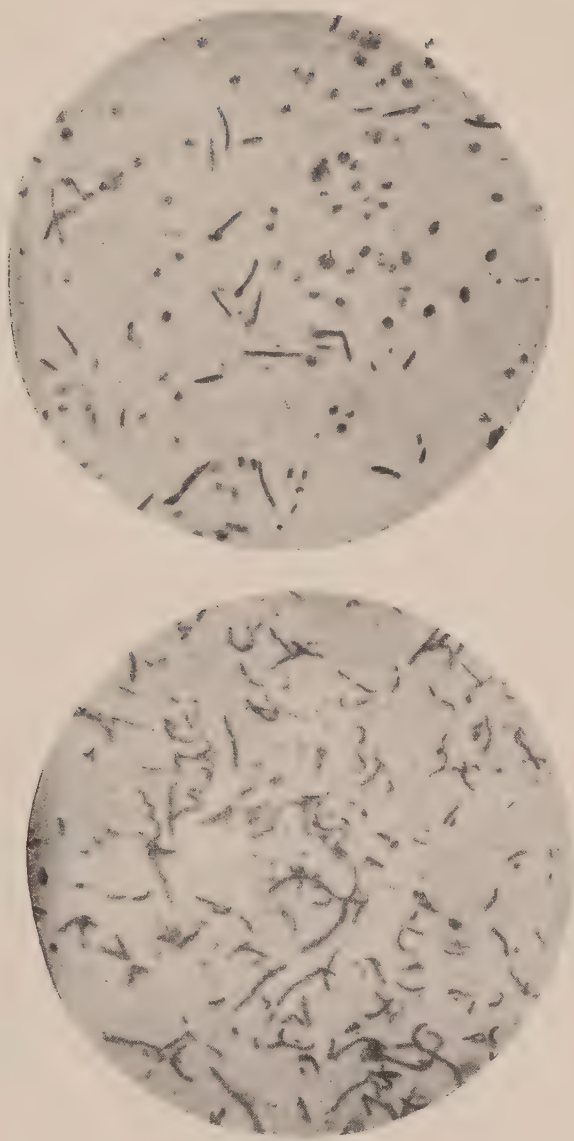


Рис. 1. Культура бактерий: а — после 60 часов, б — после 7 дней инкубации. 700×

палочек. По Граму окрашиваются положительно. Спорообразование термостойкое, споры в большинстве случаев имеют овальную форму. Капсулы, клостридиальные формы также не наблюдались. Описываемый микроорганизм — облигатный аэроб. В жидких культурах развитие его происходит удовлетворительно только при взбалтывании (наших опытах три раза в день по 10 мин.). В качестве энергетического материала он способен использовать сахарозу, обычный сахарный песок, глюкозу, мальтозу и декстрины, а также соли лимонной и винной кислот. В то же время, хотя и слабое, развитие мы получили на средах с содержанием небольших доз (0,2—0,5%) парагина. На мясо-пептонной среде, а также на средах, содержащих нитраты (1%), а также на средах без органического вещества его развитие не наблюдалось. Лучше всего бактерия развивалась на средах с сахарозой. Развитие, рост, полнота использования энергетического материала возрастают при использовании низких концентраций сахарозы (от 0,5 до 1,0%) (см. табл. 1).

Таблица 1

Фиксация азота термофильной бактерией (при 50°, в течение 5 дней инкубации)

Содержание сахарозы в г на 100 мл питательной среды в начале опыта	Взбалтывание	Содержание общего азота в конце опыта в мг на 1 г сахарозы	Израсходовано сахарозы в г	Усвоено азота в мг на 1 г использованной сахарозы
1,0	+	4,12	0,913	4,51
1,0	—	3,09	0,728	4,24
2,0	+	2,74	1,637	3,22
2,0	—	2,02	1,403	2,88

Опыт был поставлен в трехкратной повторности. Контролем служили культуры, не зараженные бактериальной культурой, на 100 мл питательной среды они содержали от 0,86 до 12 мг общего азота. Содержание азота определялось по Кьельдалю, сахара — по Бертрану.

Оптимум температуры для развития бактерии лежит в пределах 45—50°. При комнатной температуре (18—20°) и при 65° ее развитие в условиях наших опытов не наблюдалось. Температурный минимум около 25°, максимум — между 60 и 65°. Развитие бактерии возможно в пределах относительно узкого диапазона реакции среды (рН 6,5—8,3 в условиях наших опытов). При этом интересно отметить тот факт, что при снижении значения рН температурный оптимум также понижается.

Как можно заключить из наших опытов, описываемая бактерия по способности к усвоению молекулярного азота приближается к *Clostridium pasteurianum*.

Деятельность этой бактерии может иметь практическое значение, особенно в навозе и компостах, где температура повышается настолько, что препятствует развитию обыкновенных мезофильных фиксаторов азота.

Институт растениеводства
Академии наук ЭстССР

Поступило
15 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. В. Федоров, Руководство к практическим занятиям по микробиологии, 1951, стр. 155. ² М. В. Allen, Bact. Rev., 17, 125 (1953). ³ E. De Kruijff, Bull. Départ. de l'agric. aux Indes néerlandaises, Microbiol., 4, 30 (1909); Zbl. f. Bakt., Abt., 26, 65 (1910); 34, 65 (1913). ⁴ H. Pringsheim, Zbl. f. Bakt., 2 Abt., 31, 3 (1911).

М. Ф. БУГАЕВСКИЙ

ФОРМА ПРОТОПЛАСТОВ КЛЕТОК МЕРИСТЕМЫ, УБИТЫХ МОРОЗОМ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

У всех исследованных нами высших наземных растений, погибших от мороза, было отмечено, что клетки вымерзают в основном в том случае, когда в вакуолях образуется лед. Чем крупнее вакуоли в клетках и ниже температурный порог вымерзания растения, тем сильнее происходит деформация протопластов вплоть до механического «разрезания» протоплазмы на отдельные «куски».

При вымерзании молодой клетки, вступившей в стадию растяжения протоплазма ее не разрезается кристаллами льда на отдельные части. У такой клетки после ее оттаивания протопласт представляет собой одно тело, но отставшее от клеточной стенки и имеющее заметно нарушенную структуру (¹). Мы объясняем это тем, что чем меньше клеточного сока в протопласте и соответственно больше протоплазмы, тем меньше льда образуется в вакуолях и он, хотя и не разрезает протоплазму на отдельные куски, все же причиняет клетке смертельное ранение. Обособление и нарушение структуры протопласта является признаком того, что клетка убита морозом.

Выявив различие в форме убитых морозом протопластов между молодыми и достигшими зрелого возраста клетками, мы поставили себе задачу подойти к изучению явления вымерзания клеток меристемы, что позволит сделать некоторые обобщения о ходе процесса вымерзания растений, необходимые для разработки защитных мероприятий.

Для подхода к выяснению данного вопроса мы использовали конус нарастания многолетних бобовых трав (люцерны, клевера, эспарцета) и злаковых культур. Здесь приводятся результаты исследования главным образом клеток точки роста конуса нарастания раскустившейся озимой ржи сорта «Тулунская зеленозерная», которая была посеяна на поле Баяндаевской областной сельскохозяйственной опытной станции Иркутской области. Кусты озими, выбранные из растаявших монолитов, мы промораживали зимой на естественном морозе. В качестве контроля служили растения озими, не замороженные и оставленные в монолитах для отращивания.

Из листьев замороженных и контрольных кустов готовили микроскопические препараты не в виде срезов, а в виде вырезок частей листа, имеющих нормальную для данного листа толщину (¹). Конус нарастания для препарата мы брали из главного стебля куста целым, для чего, освободив конус нарастания от окутывающих листьев, отрезали его от стебля у самого основания.

В результате промораживания кустов озими в течение трех часов при температуре —23, —25° все старые клетки были убиты, а среди молодых, находящихся в стадии растяжения, встречались живые клетки (единичные или группами); клетки конуса нарастания давали плазмолиз и деплазмолиз. В результате промораживания кустов в течение 8 часов при —29, —32° оказались убитыми не только старые, но и все молодые клетки. Протопласты

еток конуса нарастания казались на первый взгляд неповрежденными, при внимательном наблюдении у части клеток обнаруживалось очень слабое отставание протопластов от клеточных стенок (рис. 1). У некоторых клеток отставания протопластов от клеточных стенок не было заметно. При помещении живого конуса нарастания в плазмолитик, он при поступлении в клетках плазмолиза съеживался, а после перенесения в воду снова расправлялся. Убитый же морозом конус нарастания, будучи помещенным в плазмолитик, не обнаруживал плазмолиза, но съеживался, а перенесенный после этого в воду расправлялся.

Протопласты клеток убитого конуса нарастания по своей структуре ничем не отличались от контрольных, кроме очень слабого отставания от клеточных стенок, и то не у всех клеток.

Мы полагаем, что гибель клеток меристемы при воздействии мороза произошла оттого, что в рассеянных в толще

цитоплазмы очень мелких вакуолях образовывались кристаллы льда, которые при своем разрастании проникли в протоплазму. При этом, хотя льда образовывалось очень мало, так что он не только не прорезал протоплазму до клеточной стенки, но и не мог глубоко проникнуть в протоплазму, однако уже такого, казалось, было незначительного, внедрения льда в протоплазму оказалось достаточным, чтобы убить клетку, у которой уже не был обнаружен плазмолиз. У большинства таких клеток удавалось наблюдать очень слабое отставание протопласта от клеточных стенок.

Аналогичную картину поведения меристематических клеток на морозе, как у злаковых, мы наблюдали и у других нами исследованных растений — ючерны, клевера, эспарцета.

Считаю долгом выразить благодарность профессору И. И. Туманову за полезные советы при выполнении мною работ по зимостойкости растений.

Поступило
29 XI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Ф. Бугаевский, ДАН, 105, № 6 (1955).

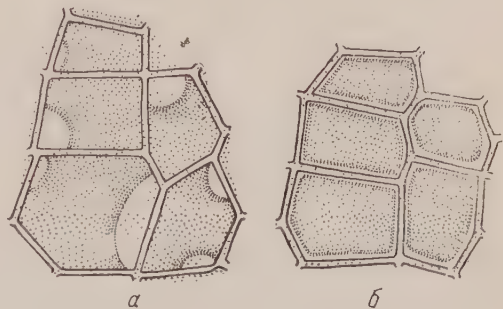


Рис. 1. Клетки конуса нарастания озимой ржи: а — живые, плазмолизируют; б — убитые морозом, протопласты которых съежились и слегка отошли от клеточных стенок

А. В. ВОЕВОДИН

РЕАКЦИЯ ДВУДОМНЫХ РАСТЕНИЙ НА ГЕРБИЦИД 2,4-Д

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

В литературе нет единого мнения об интенсивности физиологических и биохимических процессов у двудомных растений. По-видимому, этот вопрос и не может решаться однозначно. Возможны как более высокая активность особей одного пола, так и равная активность физиологических процессов у растений обоих полов. Джапаридзе⁽⁶⁾ указывает, что женские особи более оводнены и более устойчивы к неблагоприятным условиям. В то же время Джапаридзе^(5,6) и Минина⁽⁴⁾ большее значение придают возрастным различиям. С другой стороны, Наугольных⁽¹¹⁾ и Светлов и Светлова⁽¹³⁾ подчеркивают большую пластичность и выносливость женских особей. В то же время Михайловская⁽¹⁰⁾ показала, что лимонник китайский (*Schizandra chinensis*) вопреки мнению некоторых авторов, считающих его строгим двудомником, образует женские цветки лишь в благоприятных условиях (достаточные освещение и влажность, рыхлость и плодородие почвы). Из работы Стешенко⁽¹⁵⁾ вытекает, что при недостатке влаги отсутствует возобновление терескена (*Eurotia ceratoides*), так как редуцируются женские цветки; на поливных участках побеги несут больше женских цветков, чем мужских. Факт различного реагирования мужских и женских особей рядом авторов используется для широких общебиологических построений. Так, Сукачев⁽⁴⁾ пишет, что меньшая гибель женских экземпляров в результате конкурентных отношений есть приспособительный признак, выработанный путем естественного отбора. Первухина⁽¹²⁾ приводит доводы в пользу гипотезы Голенкина⁽⁴⁾, что закрытая завязь цветковых растений, возникшая как результат различий в биологии мужских и женских особей, наряду с особенностями вегетативных органов (способность выдержать яркий свет и сухость воздуха), обеспечила победу цветковых растений над голо-семенными и папоротникообразными.

Напомним, что пол растения в решающей мере является наследственным признаком. Однако внешние условия способны влиять на обращение пола не только у растущих из семян растений^(2,9), но даже у многолетних деревянистых растений. Согласно данным Жуковского⁽⁷⁾, под влиянием обрезки происходит обращение пола у тутового (*Morus alba*, *M. niger*) и гуттаперчевого дерева (*Eucomia ulmoides*). Однако, хирургическое вмешательство слишком сильный способ воздействия на растение. Нас заинтересовал вопрос о влиянии на соотношение мужских и женских растений гербицида 2,4-Д, а также о возможности обращения пола при его применении. Работа проводилась в зерносовхозе «Кропоткинский» Краснодарского края в 1950—1952 гг.

При решении вопроса об изменении соотношения мужских и женских особей в первый год применения 2,4-Д мы не опрыскивали больших постоянных площадок, а пользовались точечной методикой, т. е. опрыскивали большое число мелких (10—25 м²) площадок, расположенных в разных частях полей. Это делалось для того, чтобы набрать в каждую повторность

менее 100 особей тех видов, которые не образуют больших очагов, а рас-
лагаются небольшими группами (например, *Asparagus officinalis*).
последующие годы эти площадки опрыскивались снова. Повторность опыта
ла трехкратная. Расход жидкости равнялся 500 л/га. В табл. 1 сообще-
ся результаты учетов через 45 дней после первого (однократного) приме-
ния 2,4-Д.

Таблица 1

Растение	Гибель растений через 45 дней в %			
	1,5 кг/га 2,4-Д		3,0 кг/га 2,4-Д	
	женск.	мужск.	женск.	мужск.
Конопля (<i>Cannabis ruderalis</i>)	70,3	97,3	95,7	100
Триния (<i>Trinia Henningii</i>)	80,7	99,7	97,3	100
Бодяк (<i>Cirsium incanum</i>)	56,7	99,3	96,3	100
Бриония (<i>Brionia dioica</i>)	45,3	72,3	90,7	100
Щавель (<i>Rumex acetosella</i>)	67,3	90,7	95,3	100
Зорька (<i>Melandrium album</i>)	5,7	3,3	7,3	10,3
Ива (<i>Salix viminalis</i>)	0	5,0	8,7	13,7
Спаржа (<i>Asparagus officinalis</i>)	3,3	0	10,3	7,3

Приведенные в табл. 1 данные говорят о том, что разница в гибели муж-
ских и женских особей от 2,4-Д характерна не для всех видов двудомных
растений. У некоторых видов она проявляется для обоих дозировок 2,4-Д,
и у *Rumex acetosella* эти различия уже сглаживаются. Особенно это за-
метно в опыте с большой дозировкой 2,4-Д. У остальных трех видов расте-
ний как мужские, так и женские особи, оказались в равной степени устой-
чивыми к 2,4-Д. Следует отметить, что это разделение на чувствительные
и устойчивые группы растений весьма условно, и в отношении других хи-
мических веществ оно может быть совершенно иным. Так, например, муж-
ские и женские особи *Melandrium album* обладают одинаковой устойчивостью
к гербициду 2,4-Д, но разной к другим химическим веществам.

Для того чтобы решить вопрос об обращении пола у нормально расту-
щих многолетних растений и у растений, обработанных гербицидом 2,4-Д,
мы наблюдали за модельными растениями в течение трех лет (1950—1952).
В этих опытах на постоянных площадках было взято в повторность по 100
мужских и 100 женских особей каждого вида. Число повторностей равня-
лось десяти. Каждый год в начале цветения определялся пол изучаемых
растений, а затем одни из них (опытные) опрыскивались гербицидом 2,4-Д
(3,0 кг/га), а другие (контроль) оставались без обработки. Расход жидкости

Таблица 2

Растение	Число мужских и женских особей на постоянных опытных площадках в % от числа сохранившихся растений					
	1950 г.		1951 г.		1952 г.	
	женск.	мужск.	женск.	мужск.	женск.	мужск.
Хмель (<i>Humulus lupulus</i>)	97,5	93,0	96,1	99,0	96,4	—
Бриония (<i>Brionia dioica</i>)	90,4	95,7	100	93,2	99,8	—
Бодяк (<i>Cirsium incanum</i>)	94,3	91,2	93,3	96,1	92,2	—
Щавель (<i>Rumex acetosella</i>)	99,1	99,3	97,1	100	100	95,7
Крапива (<i>Urtica dioica</i>)	97,1	100	96,2	100	100	100
Зорька (<i>Melandrium album</i>)	100	100	100	99,7	100	100
Спаржа (<i>Asparagus officinalis</i>)	100	100	100	100	99,7	100
Ива (<i>Salix viminalis</i>)	100	100	100	100	100	100

500 л/га. Полученные результаты приводятся в табл. 2, из данных которой видно, что многолетние двудомные растения обладают различной прочностью наследования половых различий. В опытах установлено, что небольшая часть растений некоторых видов под влиянием обработки гербицидом 2,4-Д изменяли свой пол на противоположный, тогда как остальные виды растений в условиях опыта оказались неспособными к обращению пола. Что касается естественных условий роста двудомных растений (включая сюда и механические обработки почвы для *Cirsium incanum*), то здесь этого явления нами не отмечено, что согласуется со сведениями, приведенными в сводке Роббинса (¹⁶) для *Cirsium arvense*. Однако мы ничего не знаем о том, как скажутся на обращении пола упомянутых многолетников подкормки и орошение.

Многолетнее применение 2,4-Д на одних и тех же площадях способствует реконструкции травостоя (³). При этом увеличивается количество злаковых растений и уменьшается число растений из класса двудольных. Что же касается соотношения мужских и женских особей при таком применении гербицида, то данные по этому вопросу приводятся в табл. 3. В этих опытах первое опрыскивание (расход жидкости 500 л/га) проведено в 1949 г., второе — в 1950 г. и третье — в 1951 г. Как в опыте, так и в контроле в повторность бралось по 100 растений. Число повторностей равнялось десяти. При этом в контроле проценты высчитаны от общего числа растений на контрольных делянках, а в опытах — от числа мужских особей на всех опытных делянках.

Таблица 3

Растение	Число мужских растений на постоянных площадках в %					
	1950 г.		1951 г.		1952 г.	
	контр.	опыт	контр.	опыт	контр.	опыт
Щавель (<i>Rumex acetosella</i>)	39,7	90,0	46,8	50,5	27,6	0
Болак (<i>Cirsium incanum</i>)	37,2	87,4	53,3	28,3	66,5	0
Бриония (<i>Brionia dioica</i>)	49,5	95,6	59,5	41,2	32,4	0
Крапива (<i>Urtica dioica</i>)	51,6	100	35,4	77,4	39,3	57,4
Зорька (<i>Melandrium album</i>)	51,1	100	41,2	100	36,7	100
Ива (<i>Salix viminalis</i>)	34,6	100	33,4	100	45,9	100
Спаржа (<i>Asparagus officinalis</i>)	27,7	100	42,1	100	38,5	100

Рассмотрим результаты на варианте опыта с дозировкой 2,4-Д в 3,0 кг/га (табл. 3). Как видно из приводимых цифр, количество мужских особей у двудомных растений естественно колеблется в зависимости от погодных условий года. Это вполне согласуется с данными работ (^{8, 10, 15}) и др. Что касается влияния на мужские особи систематического применения 2,4-Д, то здесь не все виды растений равнозначны. Если первые три вида после трехлетнего применения 2,4-Д полностью утратили мужские особи, то последние четыре вида в этом отношении не пострадали ничуть. При этом полученный результат зависит, главным образом, от вымирания мужских особей: роль обращения пола в этом процессе, как это видно из данных табл. 2, чрезвычайно мала. Следует отметить, что характер этих изменений может быть и противоположным. Так, согласно данным Алмазовой (¹) частые подрезки и применение 2,4-Д приводят у *Rumex confertus* к изменению соотношения мужских и женских особей в пользу мужских.

В ы в о д ы

1. При естественном произрастании двудомных многолетников нами за 3 года не наблюдалось ни одного случая обращения пола. В опытах с применением 2,4-Д у некоторых видов отмечено небольшое количество случаев перехода мужских особей в женские и наоборот.

2. Двудомные растения по отношению к гербициду 2,4-Д можно разделить на три группы: а) виды, у которых мужские особи гибнут сильнее женских; б) виды, у которых и мужские и женские особи гибнут одинаково; в) виды, у которых и мужские и женские особи одинаково устойчивы к 2,4-Д.

3. Систематическое применение 2,4-Д на одних и тех же площадках одних видов двудомных растений приводит к уничтожению преимущественно мужских особей у других видов в равной степени уничтожает как мужские, так и женские, особи, а на третьи виды не влияет в тех дозировках, которые испытывались в опытах.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт защиты растений

Поступило
20 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. И. Алмазова, Биологические особенности щавеля конского (*Rumex crispus* Willd.) и меры борьбы с ним, автореферат диссертации, М., 1955. ² О. А. Вальтер, М. Ф. Лилиенштерн, Тр. лаб. физиол. и биохим. раст., 1 (1934). ³ А. В. Боевдин, Бот. журн., 38, № 4 (1953). ⁴ М. И. Голенкин, Победители в борьбе за существование, М., 1927. ⁵ Л. И. Джапаридзе, Сообщ. АН ГрузССР, 2, № 10 (1941). ⁶ Л. И. Джапаридзе, Т. А. Кезели, К. И. Леонидзе, Сообщ. АН ГрузССР, 5, № 4 (1944). ⁷ П. М. Жуковский, Ботаника, 1949. ⁸ Ф. Ф. Дейсле, Н. А. Макарова, Эксп. бот., 7 (1950). ⁹ Е. Г. Минина, Смещение пола у растений воздействием факторов внешней среды, М., 1952. ¹⁰ И. С. Михайловская, Уч. зап. Моск. гос. пед. инст., 73 (1953). ¹¹ В. Н. Наугольных, ДАН, 49, № 4 (1945). ¹² Н. В. Первухина, Бот. журн., 40, № 5, (1955). ¹³ П. Г. Светлов, М. Г. Светлова, ДАН, 70, № 4 (1950). ¹⁴ В. Н. Сукачев, Бот. журн., 38, № 1 (1953). ¹⁵ А. П. Стещенко, Формирование структуры полкустарничков в условиях высокогорий Памира, Автореферат диссертации, 1953. ¹⁶ W. W. Robbins, A. S. Crafts, R. N. Raynor, Weed control, N. Y.—Toronto — London, 1952.

А. А. МАЛЫШЕВ

ПРОЦЕССЫ РАЗВИТИЯ И РОСТА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В ВЫСОКОГОРНЫХ ЗОНАХ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 13 IX 1956)

Изучение биологических особенностей культурных растений по высотному профилю на северном склоне Западного Кавказа проводилось в Тебердинском государственном заповеднике в 1939—1941 и 1953—1956 гг. Здесь, в районе Передового хребта, проводятся исследования возможности возделывания и изменчивости кормовых и овощных культур в разных горных зонах. Опыты ведутся в ряде пунктов, образующих цепь от предгорной равнины до вершин гор на высоте: 520, 920, 1950, 2400, 2700 и 3000 м н.у.м.

Указанные высоты приходятся на определенные климатические зоны и пояса растительности с присущими им экологическими особенностями. В комплексе условий при возделывании растений особо важную роль играет тепловой фактор. Проведенными наблюдениями (а для нижних пунктов — по многолетним данным) установлены следующие температурные показатели разных высотных уровней за вегетационный период табл. 1.

Таблица 1

Высота над уровнем моря в м	Место-нахождение участка	Высотный пояс	Рельеф	Сумма температур выше 10°	Средняя температура лета (3 мес.) в °С	Продолжительность вегетационного периода в днях	Число лет наблюдений
520	Пятигорск	Степной	Предгорная равнина (плато)	3000	20,5	220	Многолетние
920	Зеленчук	Луго-степной	Долина	2400	17,0	210	То же
1330	Теберда	Лесной	"	1970	15,0	180	6
1950	Хребет Кынчрат	Субальпийский (нижний)	Склон хребта	1400	13,0	170	6
2400	То же	Субальпийский (верхний)	" "	680	10,7	120	5
2700	" "	Альпийский (нижний)	" "	430	8,7	100	4
3000	" "	Субнивальный	" "	100	6,5	60	2

Все опытные участки, кроме самого нижнего, находятся в зонах, где за год выпадает от 700 до 1000 мм осадков, причем от 30 до 70% их приходится на вегетационный период. Средняя температура лета на крайнем высокогорном участке вдвое меньше, вегетационный период в $3\frac{1}{2}$ раза короче, а запасы тепла ($> 10^\circ$) в 30 раз меньше, чем на самом нижнем участке. Безморозный период в этих зонах длится от 20 (2400—3000 м) до 170 (520 м) дней.

Анализы растений с опытных участков, произведенные биохимической лабораторией Всесоюзного института растениеводства (А. И. Ермаковым), показали, что изменения в обмене веществ культурных растений, происходят уже с первого года их выращивания в горах. Так, сумма сахаров на уровне 2700 м, по сравнению с уровнем 1330 м, увеличивалась у ряда овощей (в частности кольраби, репа, редька) в среднем в $1\frac{1}{2}$ раза, у картофеля —

4—5 раз. Сухое вещество у овощей на уровне 2700 м возрастало на 10—20%. Количество аскорбиновой кислоты у овощей увеличивалось на том же уровне (по сравнению с 1300 м) в 1½ раза.

Несомненно, что на обмен веществ в горах в основном влияет изменяющийся с высотой температурный режим. В связи с тем, что фотосинтез происходит там при низких температурах, препятствующих образованию крахмала, в растительном организме накапливаются сахара. Как известно, сахар в свою очередь понижает температурные пределы фотосинтеза. Вследствие изменения обмена веществ меняют свой ход и процессы развития и роста растений.

Зерновые культуры на уровне 2700 м созревали при таких температурах, какие в обычных условиях их произрастания не наблюдаются. Так, яровые ячмени (в частности Китай К-5195, Полярный) полностью вызрели здесь при средней температуре за вегетационный период в 9,2°, а озимые культуры — в 8,3°, причем рожь убрана в полной спелости, а ячмень и пшеница — в восковой. Частично созревали на этом уровне горохи типа Карлик. За лето температура воздуха была здесь в среднем в течение 16 час. в сутки ниже 10° и только в течение 8 дневных часов — около 12°. В период молочной и восковой спелости яровых и озимых (сентябрь) температура ниже 10° была 20 час. в сутки, а от 10 до 11° не более 4 час. В среднем за сутки она не превышала 7°. В этот период происходил и налив зерна пшеницы, тогда как по литературным данным (1) для созревания пшеницы требуется в период налива температура не ниже 15°. Отметим, что за лето число дней с средней температурой 10° и выше колебалось здесь от 24 до 50. По-видимому надо учесть и влияние на растения интенсивной солнечной радиации. По нашим данным, увеличение прямой радиации на 2700 м по сравнению с 1330 м достигает 8%, причем интенсивность ультрафиолетовой радиации больше на 20%.

Вегетационный период культурных растений с высотой неизменно удлинялся. У зерновых культур на 2700 м он затягивался (по сравнению с 1330 м) до 34 дней. Наибольшее замедление в развитии наблюдалось у более теплолюбивых культур. У конопли, например, наступление отдельных фаз на 2700 м запаздывало на полтора месяца и более. Однако на высокогорных участках (от 1950 м и выше) весной, благодаря быстрому потеплению после таяния снега, первый период развития (световая стадия) у большинства зерновых культур в некоторые годы шел даже быстрее, чем внизу. Затягивание развития растений в горах Западного Кавказа наблюдается в период, главным образом, после колошения, особенно в период созревания зерна. При посевах в одинаковые сроки, ввиду снижения температуры с высотой, развитие растений затягивается на световой стадии (ячмени) или протекает медленнее в течение всего периода вегетации, особенно с наступлением молочной спелости (пшеницы).

Изменяя температурный режим путем перемещения растений (в вегетационных сосудах) с одного уровня на другой в разные моменты их жизни, можно управлять ходом развития растений. У зерновых культур удавалось ускорить или задержать наступление отдельных фаз до 2 мес., причем продолжительность периода вегетации изменялась от 98 до 150 дней. Так, у пшеницы Гарнет, перенесенной с 2700 м ниже почти на полтора километра в момент дифференциации колосковых бугорков, восковая спелость наступала на 27 дней позже, чем у пшеницы, выросшей на нижнем уровне (1330 м). У пшеницы, перемещенной вниз лишь на несколько дней позже, перед колошением, восковая спелость задержалась уже на 51 день.

На высокогорных участках (2400—2700 м) у культурных многолетних растений наблюдалось затягивание генеративного развития до полутора лет. Например, тимофеевка луговая проходила весь цикл развития (от семени до семени) лишь за два вегетационных периода.

В связи с недостатком тепла на уровнях 2400—2700 м отмечалось угнетение и процессов роста. Высота зерновых яровых (в среднем по ряду сор-

гов ячменя и пшеницы) на разных уровнях выражалась (в %) следующими величинами: 520 м 100, 920 м 185, 1330 м 205, 1950 м 218, 2400 и 2700 м 166%. Увеличение высоты растений наблюдалось в горах до уровня 1950 м, где условия для ростовых явлений наиболее благоприятные. Если высоту зерновых культур на уровне 1330 м принять за 100%, то в субальпийском поясе (его нижней части) она возрастает на 36%, а на уровнях 2400—2700 м уменьшается на 20%. На последних двух уровнях скорость роста растений резко снижена. Так, средний суточный прирост у озимой пшеницы на 2400 м был на 16% меньше, чем на 1330 м, а на 2700 м темпы роста замедлялись почти вдвое. В то же время на уровне 1950 м суточный прирост зерновых культур в полтора раза выше, чем на нижнем уровне (1330 м). Ассимиляционная поверхность у нетребовательных к теплу культур здесь больше, чем на уровне 1330 м: у овса, картофеля, турнепса в среднем в полтора раза, у ячменя — вдвое. В верхней части субальпийского пояса (2400 м) период роста растений удлиняется. Поэтому, несмотря на слабые темпы роста, у ряда нетребовательных к теплу культур вегетативная масса там не меньше, а ассимиляционная поверхность в определенную фазу даже больше (на 30—50%), чем на уровне 1330 м. Известкование на высокогорных участках резко усиливало процессы роста: на уровне 2400 м этот прием увеличил ассимиляционную поверхность овса втрое.

В альпийском поясе (2700 м), вследствие торможения низкими температурами генеративного развития, а также замедления роста в высоту, растения используют пластические вещества на построение большого числа добавочных (непродуктивных) стеблей. Поэтому энергия кущения у ячменя и овса здесь почти вдвое больше, чем на уровне 1330 м. Усиленная кустистость при меньшей высоте растений и удлинение периода развития и роста являются признаками, сближающими однолетние культурные растения уже с первого года выращивания с многолетними аборигенами гор. Большая кустистость у культурных злаков имеет место также и в нижней части субальпийского пояса (1950 м), но здесь это явление объясняется избытком пластических веществ, создаваемых в результате интенсивного фотосинтеза и активно идущих ростовых процессов. Ассимиляционная поверхность растений на этом уровне гораздо больше, чем на других высотах.

В общем в высокогорной зоне Западного Кавказа (выше 2200 м) возделывание культурных растений на зерно практически ненадежно. Здесь вызревание зерна на уровне 2400—2700 м наблюдалось нами только в благоприятные в тепловом отношении годы. В этих условиях целесообразно возделывание лишь тех культур, хозяйственно-ценная продукция которых создается в результате процессов роста и, в первую очередь, — роста подземных органов. На уровне 2400 м, а в благоприятное лето и на уровне 2700 м, можно получать достаточно высокие урожаи картофеля и ряда овощных культур, в том числе репы, редьки, редиса, кольраби, капусты, чеснока, лука на перо. В переводе на гектар урожай овощных корнеплодов северного типа достигал на уровне 2700 м 380 ц, а на 2400 м—800 ц и выше. Если современная граница горного земледелия лежит на северном склоне Западного и Центрального Кавказа на уровне 2000 м (в отдельных случаях до 2200 м), то климатический предел наиболее нетребовательных к теплу культур установлен нами до уровня 3000 м. Здесь выращены, в частности, картофель, чеснок, редис, репа, шпинат, салат. Практически граница земледелия может быть поднята до верхнего предела распространения древесной растительности, в данном районе — до уровня 2400—2500 м.

Тебердинский государственный
заповедник

Поступило
12 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. А. п ц и, Сельскохозяйственная экология, 1936. ² А. А. Гроссгейм, Растительные богатства Кавказа, 1952. ³ Г. В. Ковалевский, Природа, № 11 (1936); № 3 (1937). ⁴ А. А. Малышев, ДАН, 53, № 6 (1946); 54, № 2 (1946); 59, № 4 (1948). ⁵ А. А. Малышев, Изв. Всесоюз. географич. общ., № 3 (1948).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. Н. ОВЧИННИКОВ и Н. М. ШИХАНОВА

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ РАЗНОКАЧЕСТВЕННОСТИ ЗЕРНОВОК ПШЕНИЦЫ, СФОРМИРОВАННЫХ В РАЗНЫХ ЦВЕТКАХ КОЛОСКА

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

Зерновки пшеницы, сформированные в одном и том же колосе и даже в одном и том же колоске, закономерно отличаются друг от друга своими размерами и весом (^{1, 2}). Причины разнокачественности плодов и семян, обусловленной местоположением цветка в соцветии, в частности, и причины различия зерновок пшеницы в пределах даже одного колоска, еще не вскрыты в должной мере.

Н. П. Кренке и Т. Н. Бельская пытались объяснить разнокачественность плодов в пределах одного растения на основании теории циклического старения и омоложения. Однако эта теория недостаточно разработана и встретила ряд возражений (³⁻⁵).

Не может также считаться вполне правильным широко распространенное представление, что в цветках, которые раньше развиваются на растении, создаются благоприятные условия для формирования более крупных и более жизнеспособных семян.

Опыты А. Н. Горина (⁶) и наши (²) показали, что у пшеницы, в случае хорошо развитого среднего колоска, наиболее крупные и

биологически полноценные зерновки формируются не в первых, а во вторых и даже иногда в третьих цветках колоска, которые зацветают позже первого. В результате неодновременного формирования цветков в пределах растения, процесс созревания плодов и семян также осуществляется неодновременно и, следовательно, не в одинаковых условиях внешней среды, что несомненно, накладывает свой отпечаток на процесс формирования плодов и семян. Ряд исследователей считает, что разнокачественность семян связана с неодинаковыми условиями питания в пределах растения и даже отдельного соцветия.

Чтобы выявить закономерности в снабжении питательными веществами зерновок, формирующихся в разных частях соцветия пшеницы, нами были проведены соответствующие опыты. Часть результатов этих опытов приведена в табл. 1 и в виде графика.

Таблица 1

Сорта озимой пшеницы	№№ цветков в среднем колоске	Средний вес зерновок в мг	Содержание азота		Содержание сырого белка в зерновках в %
			в среднем на зерновку в мг	в %	
Тодирешти 32	1	47,11	1,277	2,71	17,33
	2	55,68	1,548	2,78	17,84
	3	35,00	0,917	2,62	16,81
Американка 15	1	47,30	1,272	2,69	17,10
	2	51,80	1,430	2,76	17,73
	3	37,40	0,972	2,60	16,70
Гостианум 237	1	40,20	0,939	2,33	14,54
	2	43,74	1,029	2,36	14,82
	3	26,83	0,603	2,25	14,14

Как видно из рис. 1, в одновозрастных зерновках, созревающих в разных цветках среднего колоска, накопление сухого вещества и изменение влажности идет не одинаковым темпом. Накопление сухого вещества и влажность наибольшие в зерновках из вторых цветков, меньшие из первых

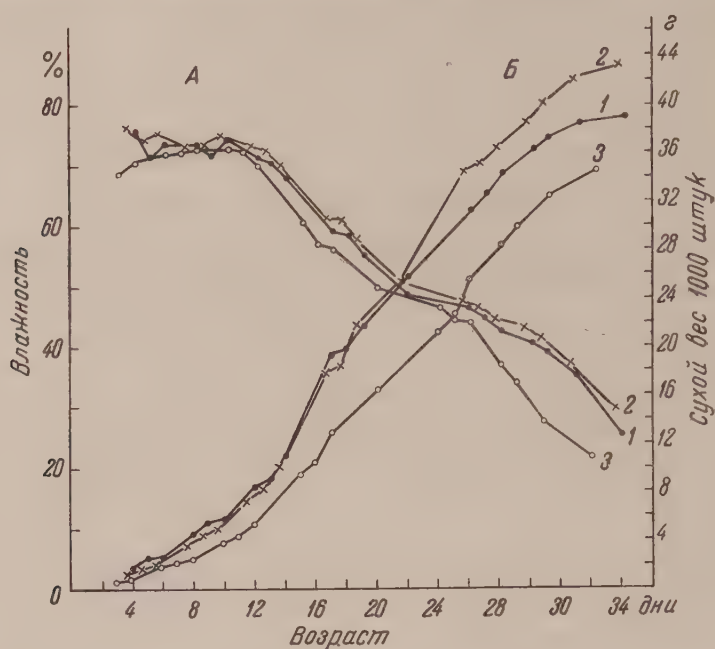


Рис. 1. Влажность (А) и сухой вес (Б) зерновок пшеницы Одесская 3 из первых (1), вторых (2) и третьих (3) цветков средних колосков в дни одинакового возраста

и наименьшие из третьих. Из табл. 1 видно, что аналогичным образом в зрелых зерновках, сформированных в разных цветках средних колосков, накапливался не одинаковое количество азота.

Нами было обнаружено также, что степень снабжения питательными веществами отдельных цветков средних колосков зависит от мощности развития колоска. Так, из табл. 2, в которой показан абсолютный вес (г) зерновок озимой пшеницы Зерноградки видно, что в случае формирования в средних колосках по пять зерновок, наиболее тяжелые зерновки развиваются в третьих цветках.

В 4-, 3- и 2-зерных с хорошо развитым третьим цветком колосках наиболее тяжелыми являются зерновки из вторых цветков. Если третий цветок недоразвит, наиболее тяжелые зерновки получаются в первых цветках.

Таблица 2

№ цветка в среднем колоске	Число зерновок				
	5	4	3	2	2
	Абсолютный вес в г				
1	35,11	32,94	36,34	35,44	30,40
2	36,50	37,60	41,96	36,64	25,41
3	40,35	35,89	27,41	—	—
4	32,24	18,84	—	—	—
5	16,25	—	—	—	—

Зависимость качества и веса зерновок от притока к ним питательных веществ находит подтверждение и в опытах по чеканке колосьев. Основываясь на результатах этих опытов, мы поставили целью выяснить, насколько можно влиять на вес зерновок, увеличивая их питание путем чеканки до максимума.

Чтобы достигнуть намеченной цели, мы удаляли в период начала колошения все колоски — кроме четырех средних — у хорошо развитых колосьев одного и того же размера. Половина таких колосьев оставлялась

качестве контроля, а у второй половины, над которой производился опыт, удалялись пестики и тычинки из первых и вторых цветков. Можно полагать, что благодаря такой операции, у третьих и четвертых цветков улучшались до предела условия питания и налива зерна. После созревания контрольные и опытные колосья убирались и подвергались анализу. Часть полученных результатов этого опыта сведена в табл. 3. В результате того, что у контрольных колосьев четвертые цветки завязали мало плодов, зерновки из третьих цветков имели несколько меньший вес, чем зерновки из первых цветков.

Таблица 3

Сорта яровой пшеницы	Контрольные колосья			Опытные колосья		
	№ цветка в среднем колоске	число собранных зерновок	абсолютный вес зерновок в г	№ цветка в среднем колоске	число собранных зерновок	абсолютный вес зерновок в г
Альбидум 43	1	183	48,74	1	—	—
	2	180	55,28	2	—	—
	3	167	44,90	3	174	50,98
	4	64	33,88	4	150	35,00
Альбидум 3700	1	183	35,68	1	—	—
	2	177	44,80	2	—	—
	3	166	34,04	3	179	39,55
	4	93	22,58	4	178	24,27
Лютесценс 1163	1	140	37,86	1	—	—
	2	140	44,29	2	—	—
	3	139	35,68	3	137	42,77
	4	79	26,71	4	134	29,78

Из табл. 3 видно, что в результате чеканки увеличился вес зерновок из третьих и четвертых цветков. Однако эти зерновки далеко не достигли веса зерновок из вторых цветков контрольных колосьев.

Таким образом, наш опыт показывает, что накопление веществ в зерновках зависит не только от притока питательных веществ к ним, но также в значительной мере каких-то еще не известных нам особенностей, присущих различным местам формирования зерновок.

Нам кажется, что некоторый свет на эти особенности могут пролить исследования А. Л. Курсанова и М. Н. Запрометова⁽⁷⁻⁹⁾, посвященные передвижению питательных веществ в растении и показавшие, что передвижение питательных веществ в растении обусловлено направленностью адсорбционного градиента в клетках стебля. Можно полагать, что и в пределах соцветия неодинаковый приток пищи к различным его цветкам определяется направленностью адсорбционного градиента. То, что в разных частях растения адсорбционная способность тканей к восприятию питательных веществ не одинакова, можно видеть из опытных данных В. О. Казаряна и З. С. Авунджяна⁽¹⁰⁾.

Может показаться, что должна существовать прямая корреляция между размерами зерновок и размерами тех элементов растения, которые участвуют в их формировании. Однако в действительности это не всегда так. Наши опыты, например, показали, что нет прямой зависимости между весом наружных и внутренних цветочных чешуй и весом зерновок, формирующихся в этих цветках.

Итак, надлежит признать, что разнокачественность зерновок пшеницы, сформированных в разных частях колоса и, в частности, в разных частях колосков, определяется сложным сочетанием многих факторов, из которых

наиболее изучен только приток питательных веществ и влаги. Однако этот фактор не является решающим. Что касается других факторов, то о них нет данных, позволяющих делать какие-либо определенные выводы.

Одесский гидрометеорологический
институт

Поступило
11 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. П. Горин, Докл. Моск. сель.-хоз. акад. им. К. А. Тимирязева, в. 1, 29 (1945).
² Н. Н. Овчинников, Н. М. Шиханова, Уч. зап. Кишиневск. гос. унив., 8, 175 (1953). ³ Н. Н. Овчинников, Селекция и семеноводство, № 2, 14 (1952).
⁴ Ф. А. Дворянкин, Усп. совр. биол., 39, в. 1, 111 (1955). ⁵ Л. Г. Добрунов, Усп. совр. биол., 22, в. 1 (4), 101 (1951). ⁶ А. П. Горин, Докл. Моск. сел.-хоз. акад. им. К. А. Тимирязева, в. 3, 35 (1946). ⁷ А. Л. Курсанов, Бот. журн., 37, № 5, 585 (1952). ⁸ А. Л. Курсанов, М. Н. Запрометов, ДАН, 68, № 6, 1113 (1949). ⁹ А. Л. Курсанов, М. Н. Запрометов, ДАН, 69, № 1, 89 (1949).
¹⁰ В. О. Казарян, Э. С. Авунджян, ДАН, 96, № 1, 309 (1954).

Н. А. ГЛАДКОВ

**НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЗВОНОЧНЫХ ЗАПОЛЯРНОЙ ЯКУТИИ
(БУХТА ТИКСИ)**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 12 IX 1956)

Летом 1956 г. благодаря содействию Главсевморпути я имел возможность производить зоологические (преимущественно орнитологические) наблюдения на севере Якутской АССР в районе поселка Тикси, с радиусом ежедневных экскурсий в 10—15 км. Место, где я работал, представляет собой северо-восточную окраину так называемого Приморского кряжа, лежащего к востоку от гор Хараулах. Фауна здесь в видовом отношении не богата и существенно отличается по видовому составу от фауны, связанной с дельтой р. Лены. Близость большой реки, отделенной от бухты невысокими горами, на видовом составе фауны гнездящихся птиц берегов бухты никак не отражается. В частности, здесь отсутствуют на гнездовье представители отрядов пластинчатоклювых и чайковых птиц, отсутствуют также куropатки. Впрочем, негнездование в окрестностях бухты крупных птиц следует, быть может, отнести за счет отрицательного влияния со стороны человека.

В районе бухты Тикси можно выделить два основных типа местобитаний. Это низменные сырые места, представленные комплексной мелкобугристой, а также осоково-моховой и осоково-пушицевой тундрами, и сухие, обычно возвышенные места и невысокие горы, имеющие более разнообразный, но разреженный травянистый покров. Каждый тип местобитаний имеет свою характерную фауну птиц. Первому типу свойственны кулики рода *Calidris*, турухтан, плавунчики, лапландский подорожник и краснозобый конек, а второму — галстучник, хрустан, рогатый жаворонок, пуночка, каменка.

M a m m a l i a

1. *Ovis nivicola* Esch. По словам оленеводов, водится в горах Туора-сис и более или менее обычен в скалах верховий р. Согна, что впадает в бухту Тикси возле полярной станции. Мы видели трех самок 5 VII примерно в 5—6 км к северо-западу от поселка Тикси. Помет этого барана находили в исследованных местах неоднократно.

2. *Marmota camtschatica* Pall. В районе бухты Тикси проходит северо-западная граница ареала этого зверя. Двух сурков (из них добыта взрослая самка в возрасте примерно трех лет) мы наблюдали в 5—6 км к северо-западу от Тикси на небольшой каменистой горе, известной здесь под наименованием Четырехзубка. Еще трех видели в 6—7 км к западу от Тикси. Помет находили и в ряде других мест.

3. *Mus musculus* L. До последнего времени домовая мышь не была известна на севере Сибири от устья Енисея до Чукотки. Однако в домах поселка Тикси она весьма обычна; держится и вне поселка — на свалке.

4 и 5. *Lemmus obensis* Brants и *Dicrostonyx torquatus* Pall. В год наших исследований были обычны здесь.

6. *Alticola lemmings* Mill. Обычна, причем водится и в непосредственной близости от поселка на свалке, где встречается совместно с леммингами

и домовый мышью. У самки, добытой 18 VI, в матке было восемь зародышей величиной с небольшую горошину; у самки от 22 VII — пять зародышей длиной около 30 мм.

Aves

1. *Carduelis flammea* subsp. В окрестности бухты Тикси редкая птица, по-видимому в связи с отсутствием здесь кустарников. Гнездо с пятью птенцами найдено непосредственно у поселка в мотке выброшенной на свалку толстой витой (буксирной) проволоки, оно висело частично на концах размочаленной веревки, частично было укреплено на проволоке. Помещалось на расстоянии не более метра от дороги. Благополучный вылет птенцов произошел 14 VII. Другое гнездо, найденное 13 VII, было пустым, оно помещалось также в большом витке буксирной проволоки и, судя по свежести, было обитаемо в этом году. 18 VII во втором гнезде обнаружено два яйца, затем в течение двух дней было отложено по одному яйцу, и птица приступила к насиживанию кладки в четыре яйца. Перед откладыванием яиц гнездо было подновлено — в нем уложена плотная шерстяная подстилка.

Размер яиц (4) $16,5-17,2 \times 13,1-13,3$ (в среднем $16,8 \times 13,15$ мм); вес (4) $1,36-1,47$ (в среднем $1,41$ г).

2. *Leucosticte arctoa pustulata* Licht. Два экземпляра этого вида добыты на небольшой горе Четырехзубке в 5—6 км к северо-западу от поселка Тикси. Очевидно здесь проходит северо-западная граница вида.

3. *Calcarius lapponicus* L. Относительно этой многочисленной для исследованных мест птицы следует отметить, что кладка содержит пять или шесть яиц, один раз было три и один раз семь яиц в кладке (просмотрено семнадцать кладок и четыре гнезда с птенцами). Массовое вылупление птенцов 28 VI—1 VII. Бывают и запоздалые кладки. Так, 11 VII, когда многие гнезда были уже покинуты птенцами, мы нашли гнездо с четырьмя яйцами, где только начиналось вылупление. Птенцы покинули это гнездо 19 VII — на седьмой день после вылупления. Выход птенцов из яиц в каждом гнезде длится не менее двух суток, причем последний птенец вылупляется иногда на сутки позже остальных. Покидают птенцы гнездо, еще не умея летать, также постепенно — по мере подрастания.

Размер яиц (79) $18-22 \times 14-15,6$ (в среднем $19,7 \times 14,6$ мм); вес 7 яиц (одна кладка) $16,44$ г (в среднем яйцо $2,35$ г).

4. *Motacilla alba ocularis* Swinhoe. Обычна, но гнездится разреженно. В поселке и в непосредственной к нему близости гнездится густо. На свалке на расстоянии менее чем в 1,5 км мы подсчитали пять гнездящихся пар (три гнезда было найдено). В одном из домов найдено под карнизом два гнезда на расстоянии 6 см одно от другого. Кроме карнизов, гнездится в консервных банках, поваленных бочках с цементом и т. д. Вылет птенцов во второй и начале третьей декады июля.

5. *Anthus cervina* Pall. Реже подорожника. Вылупление птенцов мы наблюдали 5 и 12 VII, выход птенцов из гнезда происходит через десять дней по вылуплении, когда птенцы еще не умеют летать. Размеры яиц (11) $19-22,8 \times 14-15,5$ (в среднем $20,26 \times 15$ мм).

6. *Calidris testacea* Pall. Исключительно редок, но все же, возможно, гнездится, так как мы добывали (22 VI и 24 VII) самок с наседными пятнами и 24 VII наблюдали птицу, которая вела себя так, как обычно ведут себя песочники, когда у них птенцы уже подросли.

7. *Calidris minuta* Leisl. Более редок, чем следующий вид. Вывод птенцов мы наблюдали 6 VII. Найденную 19 VII кладку насиживал самец, но самки также имеют наседные пятна. Размер яиц (8) $27,8-30 \times 20-21$ (в среднем $28,34 \times 20,4$ мм); вес (4) $5,33-5,45$ (в среднем $5,4$ г).

8. *Calidris ruficollis* Pall. В исследованных местах довольно многочислен. По повадкам в гнездовое время резко отличается от *C. minuta*, который гнездится в одних и тех же биотопах с красношейкой (комплексная мелко-

гристистая тундра, осоково-моховая и осоково-пушицевая тундра). Гнездовые пары обоих видов песочников, однако, взаимно исключают друг друга. В время тока *C. ruficollis* летает, держа крылья на уровне своего тела, и ударяет ими книзу, вверх поднимает их редко; при этом сравнительно часто останавливается в воздухе без взмахов крыльями, слегка подогнув из большие маховые перья. Основное направление полета во время тока — вверх (до 15—20 м) и вниз; к наклонному, почти горизонтальному полету переходит во время посадки. Голос во время тока — своеобразный слегка унылый звук, напоминающий приглушенный стон. Находясь около птенцов, *C. ruficollis* своеобразно квохчет, изредка можно услышать и «стон». Найдено пять гнезд, каждое содержало по четыре яйца. Форма яиц обычная для куликов — грушевидная, то более удлиненная, то более вздутая. Цвет резко отличен от цвета яиц других песочников: то более, то менее интенсивный красновато-коричневый. Размеры яиц и особенно вес их больше, чем у кулика-воробья. Вылупление птенцов в одном гнезде мы наблюдали 9 VII, а массовое появление пуховичков следует отнести к концу первой декады этого месяца. Две добытые от гнезда птицы оказались самками, у наседных пятен имеются у обоих полов.

Размеры яиц (20) $30,5—34,5 \times 21,0—23,5$ (в среднем $32 \times 22,83$ мм); вес (20) $7,74—8,8$ (в среднем $8,28$ г). Пуховой птенец имеет лоб и щеки рыжего цвета, бока головы и шеи того же цвета, но несколько светлее, горло еще светлее; по средней линии лба — узкая черная полоска, такая же полоса идет от разреза рта к глазу. Темя и спина бархатистые черновато-бурые с рыжим оттенком (один экземпляр) или рыжевато-бурые (другой экземпляр того же выводка), с большим количеством пушинок с белыми окончаниями, отчего окрашенный на земле птенец выглядит, как лишайник среди мха. Брюхо белое. Клюв черновато-бурый, ноги бурые с оливковым оттенком. Вес добытых 7 VII пуховичков был $5,5$ и $5,95$ г.

Имеющиеся в литературе сведения по биологии и распространению красношейки неточны и в ряде случаев ошибочны. В значительной степени это можно приписать тому, что наблюдения, которые сделал в свое время Бунге^(2,3) в дельте Лены над *C. minuta*, С. А. Бутурлин неправильно отнес^(1,7) к *C. ruficollis*. В связи с этим Дрессер⁽⁴⁾ дал неверное цветное изображение яйца, и в известной книге Э. Хартерта⁽⁵⁾ приведены, по Дрессеру, неверные размеры яиц этого вида. Между тем Бунге писал о песочнике, который летает подобно летучей мыши «*schwirrend*» и во время тока издает «*trillendes Pfeifen*»; все это, как мы имели возможность теперь убедиться, песочнику красношейке совершенно не свойственно, но свойственно *C. minuta*, а также и *C. temminckii*. Кроме того, коллекционные экземпляры Бунге, по-видимому, не давали возможности изменять сделанное этим исследователем определение⁽⁶⁾.

9. *Calidris melanotos* Vieill. Очень обыкновенен. Токует летая низко над землей. Однажды мы наблюдали ток на земле, когда самец, низко опустив крылья и пригнув к спине распушенный хвост, бежал к самке, издавая звуки, напоминающие воркование голубя. Общим своим обликом в это время ухитился действительно напоминать голубя, а бросающееся в глаза белое подвздошье придавало ему сходство с тетеревом. Яйцекладущая самка добыта 9 VI; вывод птенцов мы наблюдали 14 VII, но первых пуховичков этого вида увидели уже 7 VII. Насиживает и водит птенцов самка, и видимо только она одна имеет наседные пятна.

Размер яиц (8) $36—39,5 \times 26—26,9$ (в среднем $38,3—26,3$ мм); вес (8) $11,92—13,5$ (в среднем $12,85$ г).

10. *Philomachus pugnax* L. Гнездование этого вида в дельте Лены и ее окрестностях оставалось не доказанным. В бухте Тикси он обычен на гнездовьях. Выход птенцов из яиц мы наблюдали 9 и 13 VII.

Размер яиц (12) $41,8—45,1 \times 29—34$ (в среднем $43,91 \times 30,54$ мм); вес (12) $17,0—20,65$ (в среднем $19,23$ г).

11 и 12. *Capella galinago* L. и *Capella stenura* Swinhoe. Нахождение этих

двух видов в окрестностях Тикси значительно расширяет ареал их к северу. Оба вида здесь обыкновенны и, конечно, гнездятся, хотя гнезд найдено не было. Отличий в характере тока у обоих бекасов нам уловить не удалось.

Совместно с А. А. Калецким мы произвели учет гнезд на пяти прилегающих друг к другу гектарах тундры. Всего найдено двенадцать гнезд, принадлежащих семи видам птиц. Перерасчет численности птиц на 1 км^2 (100 га) позволяет нам считать в этом типе местообитаний самой многочисленной фоновой птицей *C. lapponicus* (80 пар на 1 км^2); тоже многочисленны и также должны быть отнесены к фоновым *C. ruficollis* и *Ph. pugnax* (по 40 пар на 1 км^2). Остальные виды — *C. melanotos*, *C. minuta*, *Ph. fulicarius* и *A. serripes* — обычны (по 20 пар на 1 км^2). Впрочем, при расширении учетной площади числовой показатель плосконого плавунчика, как мы полагаем, должен несколько снизиться, так как распределение его гнезд более пятнисто, чем у дутыша или у краснозобого конька. Кулик-воробей должен занять по численности среднее место между плавунчиками и другими куликами.

Наряду с некоторым отрицательным влиянием близости большого поселка на фауну бухты Тикси (например, отсутствие куропаток, которые, впрочем, во внегнездовое время сюда все же заходят), необходимо отметить также и обогащающее влияние человека на фауну. Это выражается в повышенной плотности гнездования некоторых видов птиц в непосредственной близости к поселку. На свалке более плотно, чем вдали от жилья, гнездятся белые трясогузки, по-видимому, только на свалке гнездятся белохвостые песчанки, отмечается повышенная плотность лапландских подорожников. Кроме того, ряд видов гнездится непосредственно в поселке: уже названная *M. alba*, а также *Ph. nivalis* и *Oe. oenanthe*, в пределах поселка держался постоянно *C. temminckii*, — очевидно, гнезвился там; в послегнездовое время в поселке постоянно можно видеть и подорожников. Напомню еще об указанном выше гнездовании чечеток в мотках проволоки. Примером обогащающего влияния человека на фауну млекопитающих может служить наличие в Тикси домовых мышей.

Поступило
13 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. А. Бутурлин, Кулики Российской империи, 2, 1905. ² A. Bunge, Bull. Acad. Imp. Sci. S.-Petersb., 29 (1884). ³ A. Bunge, Beit. z. Kenntn. d. Russ. Reichs, 3 Folge (1887). ⁴ H. E. Dresser, Ibis, 2, № 7 (1908). ⁵ E. Hartert, Die Vögel d. palaarkt. Fauna, 2 (1912—1921). ⁶ Th. Plesske, Mem. Bost. Soc. Nat. Hist., 6, № 3 (1928). ⁷ А. Я. Тугаринов, С. А. Бутурлин. Зап. Красноярск. подотд. Вост.-Сиб. отд. Росс. геогр. общ., 1911.

П. А. МОИСЕЕВ

**ОБРАЗОВАНИЕ ЖИЛОЙ ФОРМЫ СИМЫ (ONCORHYNCHUS)
MASU MORPHA FORMOSANUS (JORDAN ET OSHIMA))
В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЕДАНКИ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 21 X 1956)

У большинства видов тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* молодые полов скатывается в море или, задерживаясь в реке, образует пресноводные жилые формы. Относительно малочисленный представитель упомянутого рода — сима (*O. masu* (Brevoort)) характерна тем, что не вся ее молодь после годичного пребывания в реке уходит в море, хотя все самки и большая часть самцов по достижении длины 120—140 мм скатываются в море, спустя два-три года в реки для нереста возвращаются крупные особи (о 71 см). Однако некоторая часть молодых самцов симы остается в реке, достигая половозрелости при длине в 180—200 мм, и участвует в оплодотворении крупных самок, пришедших в реки для икрометания из моря (1). Для пресноводных водоемов Тайваня (2, 3), Японии (3) и Кореи известна пресноводная (жилая) форма симы, обычно достигающая значительно меньшей величины, чем проходная, названная *O. masu morpha formosanus* (Jordan et Oshima). В пределах Советского Дальнего Востока такая форма симы не была известна (5).

В 1936 г. на р. Седанке (вблизи Владивостока), имеющей протяженность около 12 км, была построена плотина, в результате чего образовалось сравнительно обширное водохранилище, используемое для снабжения города водой. Плотина отсекает среднее и верхнее течение реки, а насосные станции почти полностью откачивают из водохранилища поступающую туда воду, таким образом река ниже плотины перестала существовать. Выше плотины сохранился режим и условия, свойственные этой части бассейна, характерные для большинства горных речек, несущих свои воды по южным отрогам хребта Алинского хребта и впадающих в Японское море, что позволило сохраниться пресноводному комплексу ихтиофауны (1). В то же время невозможность проникновения проходных рыб в реку из-за ее полного обсыхания в нижнем течении и относительно большой высоты плотины привело к исчезновению в бассейне р. Седанки таких проходных рыб, как тихоокеанская минога (*Lampetra japonica*), кунджа (*Salvelinus leucomaenis*), азиатская ряпушка (*Osmerus eperlanus dentex*), угай (*Leuciscus brandti*) и др.

Представляет интерес образование в бассейне реки Седанки неполовой (жилой) формы симы, чему способствовала изоляция от моря молодой симы, оставшейся в среднем и верхнем течении реки. Оказалось, что молодь симы, не имея возможности скатиться в море и не пополняясь за счет мальков, вышедших из икры проходных особей, образовала мелкую неполовую форму, успешно размножающуюся в реке и сохраняющую сравнительно высокую численность.

16 V 1950 г., т. е. спустя 15 лет после постройки плотины, в р. Седанке были пойманы 2 экз. двухгодовиков, самцов симы длиной 150 и 155 мм, имеющих половые продукты во второй и третьей стадиях зрелости. Темп роста

пойманных экземпляров был сходен с темпом роста молоди симы, обитающей в реке до постройки плотины⁽¹⁾. Несколько позже были пойманы половозрелые самки симы длиной около 200—220 мм, но эти экземпляры не сохранились.

Образование в бассейне р. Седанки жилой формы симы, описанной ранее только для Тайваня, Японии и Кореи, представляет интерес как один из примеров влияния изменений в условиях обитания, вызываемых гидротехническими сооружениями, на состав и характер ихтиофауны водоема. Одновременно этот факт свидетельствует о способности некоторых видов быстро адаптироваться к изменившимся условиям обитания и существенно изменять свои биологические особенности в сторону, необходимую для обеспечения сохранения вида в новых условиях.

Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
7 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. А. Моисеев, Вестн. Дальневосточн. фил. АН СССР, № 18 (1936). ² D. Jordan, M. Oshima, Proc. Acad. Nat. Sci., Philadelphia (1919). (цит. по ⁽⁵⁾). ³ D. Jordan, E. McGregor, Mem. Carnegie Mus., 10, № 2 (1926). ⁴ G. Moriguchi, J. Chosen Nat. Hist. Soc., № 11 (1930). ⁵ Л. С. Берг, Рыбы пресных вод СССР и соприкасающихся стран, 1, 1948.

Д. В. НАУМОВ

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ

ГИДРОМЕДУЗЫ CLADONEMA PACIFICA NAUMOV

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 27 IX 1956)

В жизненном цикле многих гидрозоев происходит правильное чередование полипоидного и медузоидного поколений, но так как полипы и медузы зачастую описывались под различными названиями, каждое из этих поколений имеет свою особую систематику. Для большого числа гидромедуз до настоящего времени неизвестны относящиеся к ним полипы и, наоборот, имеется значительное число полипов, для которых неизвестно их медузоидное поколение. Поэтому для установления естественной системы Hydroidea, единой для обоих поколений, чрезвычайно важно расшифровать их жизненные циклы.

В 1955 г. мной был описан новый вид гидромедузы *Cladonema pacifica* из Японского моря, однако ее полип оставался неизвестным⁽²⁾. В июне и июле 1956 г. при работе на о. Путятине в заливе Петра Великого мной было добыто большое число особей этого вида медузы и предпринята работа по расшифровыванию ее жизненного цикла.

Медузы *C. pacifica* были обнаружены вблизи самого берега на глубине 2 м, где они поселяются в густых зарослях прибрежных водорослей. Здесь эти мелкие медузки резкими короткими толчками плавают между водорослями и могут прочно прикрепляться своими щупальцами к различным подводным предметам. Наличие в пробах кроме половозрелых медуз также и большого количества очень молодых экземпляров указывало на их местное происхождение. При просмотре водорослей, камней, раковин моллюсков и других подводных предметов, добытых в местах обитания медуз, было обнаружено большое количество гидроидов. Однако аквариальное содержание этих полипов показало, что все они образуют либо споросаки, либо зоофоры и потому не имеют отношения к исследуемому виду, полипы которого должны отпочковывать свободноплавающих медуз. После того, как обнаружить полипов в свободном состоянии не удалось, были поставлены опыты по выращиванию их из яиц медуз в лабораторных условиях.

Добытые более крупные половозрелые медузы (около 2 мм в диаметре зонтика) по 10—15 штук были помещены в небольшие стеклянные чашки и сосуды проточного микроаквариума, и дальнейшая работа с ними проводилась по ранее разработанной методике^(1, 3). Первый опыт был поставлен 5 VI и неоднократно повторялся; 15 VII весь полученный материал был зафиксирован.

Откладка медузами яиц происходит в ранние утренние часы (4—6 час. утра), позднее этого времени медузы, отсаженные в сосуды с чистой водой, не откладывали яиц до следующего утра. Яйца *C. pacifica* достигают 0,1 мм в диаметре. Эмбриональное развитие начинается сразу после откладки яиц и оседания их на дно сосуда. Первые планулы появляются через 35 час. Форма планулы яйцевидная, передний конец ее несколько расширен. Длина планулы 0,13—0,15 мм, наибольшая ширина около 0,1 мм. Период планктонной жизни планулы длится около 40 час., после чего личинка осе-

дает на дно сосуда, прикрепляется к субстрату и претерпевает метаморфоз. Первые полипы были отмечены через 72 часа после оседания планулы, а еще через 24 часа почти все они превращаются в полипов. Таким образом, полипы образуются через 6—7 суток после откладки яиц медузами.

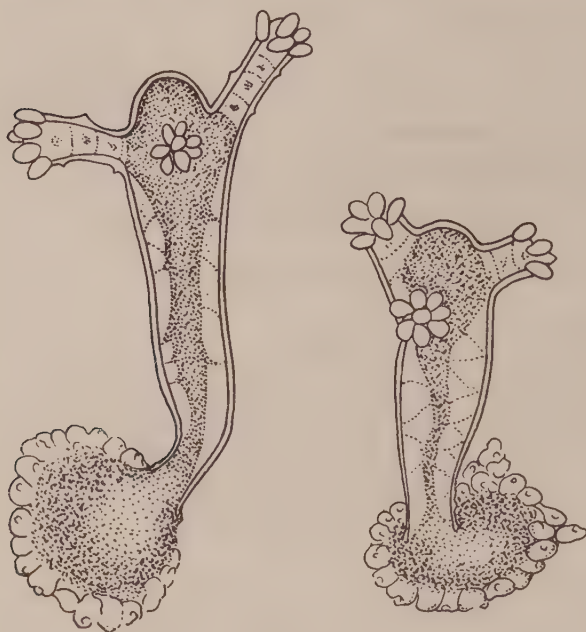


Рис. 1. Молодые полипы *Cladonema pacifica* Naumov

Молодые полипы (рис. 1) имеют округлую пластинчатую гидроризу, из середины которой поднимается ножка. Последняя без четких границ переходит в головку, увенчанную тремя короткими щупальцами, имеющими булавовидную форму. Реже щупалец может быть два или четыре. Дистальный конец щупальца несет батарею стрекательных капсул овальной формы, на срединной части щупальца имеются более мелкие стрекательные клетки с торчащими из них книдоцилями. Полип способен медленно сокращаться и вытягиваться, причем высота его колеблется от 0,2 до 0,3 мм. Полипы прожили в лаборатории до 15 дней и за это время почти не изменили

своей морфологии и не образовали колоний; последнее может быть объяснено отклонением условий их содержания от нормальных.

Полипы *C. pacifica* отличаются от полипов других видов этого рода полным отсутствием базальных нитевидных щупалец; кроме того, полипы других видов *Cladonema* всегда несут в оральном венчике четыре головчатых щупальца, тогда как полипы *C. pacifica*, как правило, имеют три таких щупальца, несколько напоминая полипов соседнего рода *Eleutheria*, которые также лишены нитевидных щупалец и снабжены двумя-десятью головчатыми щупальцами, расположенными одним венчиком.

Указанные выше морфологические особенности полипов, полученных из яиц медузы *C. pacifica*, не позволяют отнести их ни к одному из ранее известных видов.

Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
21 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Д. В. Наумов, ДАН, **76**, № 5 (1951). ² Д. В. Наумов, Тр. ЗИН АН СССР, **18**, 19 (1955). ³ Д. В. Наумов, Природа, № 1 (1956).

Т. Н. СОЛЛЕРТИНСКАЯ

ВЛИЯНИЕ УДАЛЕНИЯ ВЕРХНИХ ШЕЙНЫХ СИМПАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

(Представлено академиком Л. А. Орбели 14 IX 1956)

В литературе имеются единичные работы, указывающие на изменения биоэлектрической активности высших отделов центральной нервной системы после перерезки шейного симпатического нерва. Так Н. Ф. Попов⁽⁵⁾ наблюдал у кроликов сначала значительное ослабление (по сравнению с нормой), а затем полное исчезновение электрических реакций с коры оперированной стороне в ответ на световой раздражитель. Т. М. Загоулько⁽²⁾, исследовавшая электрические реакции среднего мозга лягушки при удалении верхних шейных симпатических узлов, показала, что после симпатэктомии электрические реакции принимают затяжной, инертный характер, в несколько раз превышая по длительности электрические реакции нормальных животных.

В настоящей работе исследовалось влияние односторонней и двусторонней экстирпации верхних шейных симпатических узлов на биоэлектрическую активность различных областей коры головного мозга кролика. Опыты проводились в экранированной затемненной камере. У 15 intactных кроликов регистрировалась фоновая электрическая активность двигательной, височной или затылочной областей коры, а также электрические реакции этих зон на различные звуковые и световые раздражители. На каждом intactном кролике было поставлено от 2 до 5 опытов, после чего 7 из них была произведена односторонняя или одномоментная двусторонняя экстирпация верхних симпатических узлов, при этом шейный симпатический нерв также удалялся на протяжении 2—4 см. Опыты на симпатэктомизированных животных проводились, начиная со второго дня и до 3—мес. после операции. Отведение электрических потенциалов производилось изолированными игольчатыми электродами, вкалывающимися через кожу кости черепа (биполярно, при межэлектродном расстоянии 2—4 мм) за 20 мин. до начала опыта. Регистрировались электрические потенциалы на четырехканальном чернилопишущем осциллографе с помощью усилителей переменного тока. Установка имела диапазон пропускания частот без искажения от 0,5 до 70 гц. В некоторых опытах одновременно записывалась пневмограмма.

В результате приведенных опытов мы обнаружили, что симпатэктомия вызывает резкие изменения в характере фово-электрической активности коры головного мозга: происходит исчезновение медленных колебаний частотою 3—6 гц (что особенно выражено в двигательной и височной областях) и уменьшение интенсивности фоновой электрической активности (среднем от 72 μ в в норме до 14—36 μ в после симпатэктомии) (рис. 1, 2). В ряде случаев имело место увеличение частоты быстрых колебаний, иногда вплоть до тахиритмии (частота быстрых колебаний у intactных кроликов порядка 25—30 в сек.).

Опыты позволили установить, что после удаления верхних шейных симпатических узлов, помимо изменений фоновой электрической активности,

у кроликов исчезает четко проявляющаяся в норме реакция угнетения фоновой электрической активности в ответ на световые и звуковые раздражители. В то же время изменения пневмограммы при этих раздражениях выражены с той же интенсивностью, что и до операции.

Наблюдавшееся у некоторых животных в ответ на прерывистые звуковые раздражения (зуммер) и чистые высокие тона (800—1000 гц) усиление электрической активности после симпатэтомии было крайне непостоянным и значительно слабее выраженным, нежели до операции.



Рис. 1. Электрическая активность двигательной области коры головного мозга кролика: А — у интактного животного; Б — после удаления шейного симпатического узла (тот же кролик)

Следует отметить, что в ряде опытов все эти изменения наблюдались уже на второй день после операции, у некоторых же кроликов, в особенности при односторонней симпатэтомии, они развивались постепенно (4—5 дней). В последнем случае в первые дни после операции фоновая активность изменялась в основном за счет падения интенсивности электрических потенциалов, медленные колебания в это время еще наблюдались. В последующие же опыты, начиная с 4—5 дня после операции электроэнцефалограмма приобретала характерный для всех симпатэтомизированных животных вид.

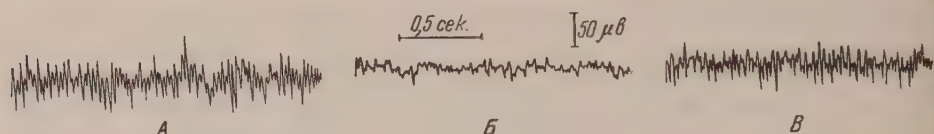


Рис. 2. Электрическая активность височной области коры головного мозга кролика: А — у интактного животного; Б — после удаления шейного симпатического узла; В — через 10 мин. после инъекции адреналина (1 мл 0,1%-го раствора подкожно)

При односторонней симпатэтомии, когда отводились биопотенциалы двух симметричных (оперированной и противоположной ей) зон коры головного мозга, в течение 1-й недели после операции наблюдались четко выступающие различия в характере электроэнцефалограмм десимпатизированной и противоположной ей стороны. На оперированной стороне отсутствовали медленные волны, происходило характерное для симпатэтомии падение интенсивности фоновой электрической активности, учащались быстрые колебания, отсутствовала реакция угнетения электрической активности в ответ на внешние раздражения. Электроэнцефалограмма противоположного полушария имела в этот период почти нормальный фон электрической активности. Эта разница, однако, постепенно стиралась и по прошествии двух недель после операции была выражена в незначительной степени. К этому времени резко изменился фон на стороне коры, противоположной по отношению к оперированной. Почти совсем исчезли (появляясь лишь изредка в виде отдельных вспышек) медленные колебания, пала амплитуда колебаний (в среднем до 30 мВ), увеличилась частота быстрых волн (до 86 в 1 сек.), отсутствовали реакции на свет и звук.

Изменения фоновой электрической активности, а также электрических реакций в ответ на световые и звуковые раздражения наблюдались на протяжении трех и больше месяцев.

Нами была поставлена серия опытов с введением десимпатизированным кроликам раствора адреналина (1 мл 0,1%-го раствора подкожно). Сни-

ная кривую электрической активности коры до введения адреналина, а затем сразу и через каждые 1—2 мин. после инъекции (в течение получаса), мы обнаружили изменения характера электрической активности, достигающие максимума к 10—15 мин. после введения адреналина и выражающиеся в возрастании амплитуды электрических колебаний в среднем от 24 μ в перед инъекцией до 68 μ в после нее (см. рис. 2).

С целью проверки значения операционной травмы проводились контрольные опыты, показавшие, что разрез шен с травмированием мягких тканей и сосудисто-нервного пучка вызывает кратковременные изменения электрической активности, но противоположного характера. В этих опытах наблюдались лишь кратковременные возрастания амплитуды электрических колебаний от 68 μ в перед операцией до 100 μ в после операции (рис. 3, III).

Таким образом, удаление верхних шейных симпатических узлов сопровождается резко выраженными длительными нарушениями электрической активности коры головного мозга. Эти нарушения, очевидно, соответствуют тем явлениям, которые были установлены путем изучения условнорефлекторной деятельности собак после выключения шейных симпатических нервов или же удаления узлов (^{1,4}). Совершенно очевидные изменения электрической активности коры головного мозга после удаления верхних шейных узлов можно объяснить либо адаптационно-трофическим влиянием симпатической нервной системы (³), либо нарушениями кровообращения, вызванными десимпатизацией.

Однако, учитывая результаты исследования Людвигса и Шнейдера (⁶), показавших, что двухсторонняя перерезка шейных симпатических нервов не оказывает влияния на кровообращение мозга, следует полученные в наших опытах изменения электрической активности коры головного мозга после удаления верхних шейных симпатических узлов связать с адаптационно-трофической функцией симпатической нервной системы.

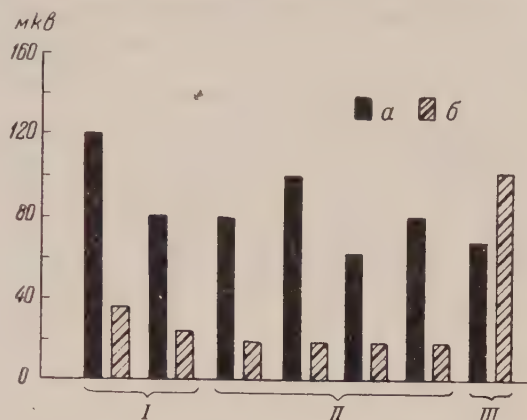


Рис. 3. Уменьшение интенсивности фоновой электрической активности коры головного мозга у кроликов после двустороннего (I) и одностороннего (II) удаления шейных симпатических узлов (III контрольный кролик); а — до операции, б — после операции

Институт экспериментальной медицины
Академии медицинских наук СССР

Поступило
16 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. А. Асратян, Арх. биол. наук, 30, в. 2, 243 (1930); Э. А. Асратян, Физiol. журн. СССР, 18, № 5, 739 (1935). ² Т. М. Загоруйко, Электрофизиологический анализ зрительного анализатора лягушки, Кандидатская диссертация, Л., 1954. ³ Л. А. Орбели, Лекции по физиологии нервной системы, М.—Л., 1938. ⁴ Б. В. Павлов, Тез. докл. научн. сессии Ленингр. гос. унив., Л. 1955, стр. 25. ⁵ Н. Ф. Попов, Сов. невропатол., психиатр. и психогигиена, 3, в. 11—12, 168 (1934). ⁶ N. Ludwigs, M. Schneider, Pflüg. Arch., 259, 43 (1954).

В. С. ШЕВЕЛЕВА

ОБ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В МЕЖНЕЙРОННЫХ СИНАПСАХ ИМПУЛЬСОВ, ПРИХОДЯЩИХ ПО РАЗЛИЧНЫМ АФФЕРЕНТНЫМ ВОЛОКНАМ

(Представлено академиком К. М. Быковым 12 VII 1956)

Рассматривая верхний шейный симпатический ганглий кошки, согласно представлениям К. М. Быкова (1), как модель нервных центров, а отдельные четыре группы волокон шейного преганглионарного симпатического ствола (I, II, III, IV пучки), выделенные в свое время нами в стволе, как модель различных афферентных проводников (2), мы исследовали характер межнейронной передачи нервных импульсов в ганглии при одновременном раздражении этих групп волокон с различных электродов.

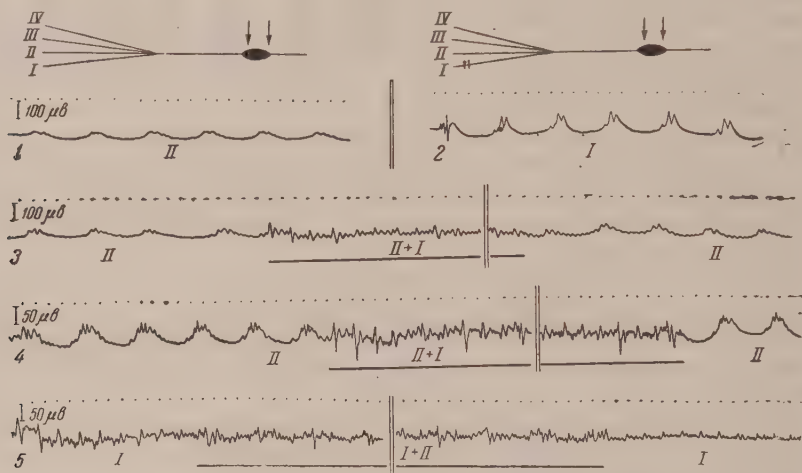


Рис. 1. Изменение биоэлектрической активности верхнего шейного симпатического ганглия при одновременном раздражении I и II пучков волокон шейного преганглионарного симпатического ствола

Осциллографическая регистрация биоэлектрической активности ганглия позволила наглядно проследить изменения функционального состояния нервных клеток под влиянием интерференции в ганглии волн возбуждения, распространяющихся по различным группам волокон преганглионарного симпатического ствола при их одновременном раздражении.

В этих экспериментах потенциалы действия ганглия регистрировались при раздражении пучков с разных электродов в двух вариантах: в одном случае одновременно раздражались I и II пучки и в другом случае — I и IV пучки. Такое сочетание пучков при их раздражении было взято с учетом различной функциональной и морфологической характеристики нервных волокон, входящих в эти пучки.

Для I и IV пучков характерно, что в их состав входят преимущественно мякотные волокна крупного (7,2—14 μ) и среднего (4,5—7 μ) калибра, тогда как в составе II и III пучков преобладают мякотные волокна мелкого калибра (1,7—4 μ). Кроме того, в состав II пучка входят безмякотные волокна. Скорость распространения возбуждения по II пучку в среднем не выше 3 м/сек, для I пучка она в среднем 10 м/сек, а для IV пучка — 7 м/сек (3).

Как видно из рис. 1, 1, 2, изолированное раздражение I и II групп волокон преганглионарного ствола при постоянной силе 1,0 в, постоянной

длительности импульсов 0,1 с и постоянной частоте стимулов 5 в секунду вызывает определенные по амплитуде потенциалы действия ганглия (1).

Присоединение к раздражению II пучка (частота стимулов 5 в секунду) раздражения I пучка (частота 10 в секунду) изменяет исходный фон биоэлектрической активности ганглия, на котором уже невозможно различить отдельных потенциалов действия, характерных для раздражения II пучка. Не удается при этом зарегистрировать и потенциалы, характерные при раздражении I пучка (рис. 1, 3). Еще лучше это видно при значительно большем усилении и большей силе раздражения пучков 1,6 в (рис. 1, 4).

Изменение биоэлектрической активности ганглия при одновременном раздражении пучков наблюдалось независимо от того, присоединялось ли раздражение I пучка на фоне раздражения II пучка или наоборот.

Вслед за уменьшением амплитуды потенциалов действия ганглия при одновременном раздражении I и II пучков наблюдалось уменьшение и величины сокращения 3-го века (рис. 2, А). Тормозящее влияние импульсов при одновременном раздражении I и II пучков на передачу возбуждения в ганглии сказывалось в еще более резкой форме, когда предварительно один из пучков длительно, непрерывно раздражался. При одновременном раздражении в том же опыте волокон I и II пучков была обнаружена полная независимость возникновения потенциалов действия ганглия.

Раздражение волокон IV пучка при частоте стимулов 5 в секунду, при силе раздражения 1,0 в и постоянной длительности стимулов 0,1 с (рис. 3, 2), вызывает появление значительных по амплитуде и сложных по форме потенциалов действия, подобных потенциалам действия, возникающим при раздражении I пучка (рис. 3, 1). Присоединение на фоне раздражения волокон IV пучка, раздражения волокон I пучка с частотой стимулов 5 в секунду не ведет к затуханию биоэлектрической активности ганглия, как это имело место в случае одновременного раздражения I и II пучков волокон. Напротив, биоэлектрическая активность ганглия в этом случае в целом повышается, что выражается в увеличении числа возникающих во времени потенциалов действия (рис. 3, 3). Соответственно этому увеличивается и сокращение 3-го века (рис. 2, Б).

При одновременном раздражении волокон I и IV пучков предшествующее длительное раздражение I пучка не ведет к понижению биоэлектрической активности ганглия, возникающей при раздражении IV пучка. Потенциалы действия ганглия появляющиеся в этом случае, независимо от того раздражаются ли волокна I пучка с частотой 10, 15 или 20 стимулов в секунду, имеют амплитуду, длительность и форму, характерные для раздражения IV пучка и появляются с частотой, соответствующей частоте раздражения волокон этого пучка (рис. 3, 4, 5, 6). Также независимо проявлялась биоэлектрическая активность ганглия при раздражении I пучка, если предварительно раздражался IV пучок.

В ряде опытов с одновременным раздражением различных групп волокон было исследовано значение фактора частоты их раздражения для синаптической передачи возбуждения.

Один из этих пучков (I) раздражался с частотой 10 в секунду, при ко-

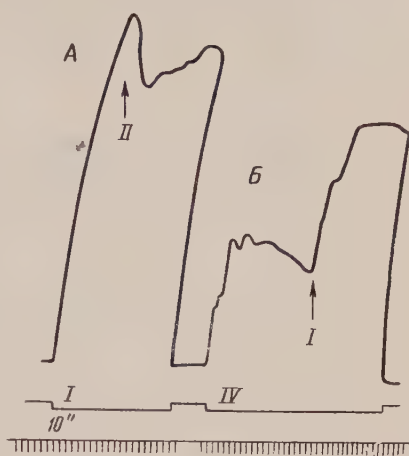


Рис. 2. Уменьшение сокращения 3-го века кошки при одновременном раздражении I и II (А) или I и IV (Б) пучков волокон шейного преганглионарного симпатического ствола

торой возникали полноценные потенциалы действия ганглия. На этом фоне с других электродов присоединялось раздражение II и III пучков при частоте 20, 40, 60, 80 в секунду*. По мере увеличения частоты раздражения этих пучков тормозящее влияние импульсов, возникающих при раздражении на процесс передачи нервных импульсов с волокна I пучка на нервные клетки становилось все более глубоким. Это сказывалось не только в постепенном полном исчезновении потенциалов действия ганглия, появля-

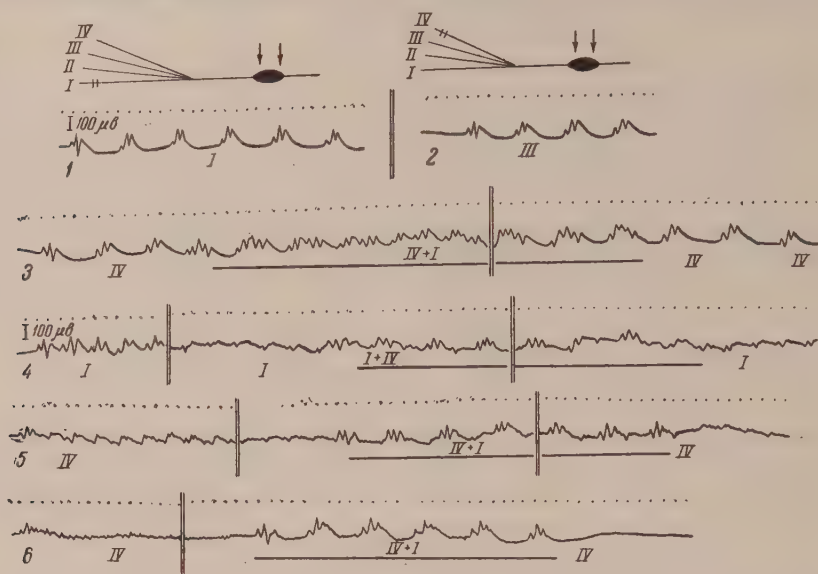


Рис. 3. Характер биоэлектрической активности верхнего шейного симпатического ганглия при одновременном раздражении I и IV пучков волокон шейного преганглионарного симпатического ствола

ющихся при раздражении I пучка, но также на более затрудненном их восстановлении после прекращения раздражения II—III пучков (рис. 4).

В этом же опыте увеличение частоты раздражения IV пучка волокон преганглионарного ствола не оказывало тормозящего влияния на потенциалы действия ганглия, возникавшие при раздражении I пучка.

На основании экспериментов с раздражением различных групп волокон мы пришли к заключению, что в верхнем шейном симпатическом ганглии кошки имеется два варианта окончаний преганглионарных волокон на клетках: а) волокна различных пучков (I и II—III) оканчиваются на одних и тех же клетках, б) часть волокон (волокна IV пучка) оканчиваются на совершенно других нервных клетках ганглия. В первом случае при одновременном раздражении пучков I и II возбуждаются одни и те же клетки, тогда как во втором случае происходит передача возбуждения с преганглионарных волокон IV пучка на другие клетки, не находившиеся до этого в состоянии возбуждения при раздражении волокон I пучка.

При окончании различных групп волокон преганглионарного ствола на одних и тех же клетках, с увеличением частоты раздражения каждого из пучков уменьшается интервал, отделяющий один импульс по отношению к нервным клеткам в тетаническом ряду от другого. В этом случае становится более вероятным, что биохимические и физикохимические изменения, вызываемые в синапсах последующим импульсом, не окажут соответствующего влияния на функциональное состояние нервных клеток, находящихся в этот момент в рефрактерной фазе под влиянием предшествующего

* В этом опыте II и III пучки были взяты для раздражения вместе, чтобы получить потенциалы ганглия большей амплитуды. По своей морфологической и функциональной характеристике эти пучки сходны.

импульса. При максимальной силе раздражения различных групп волокон с разных электродов это возможно, как было показано, даже при низкой частоте раздражения (5 в 1 сек.), так как пучки раздражаются независимо, несинхронно и волокна их проводят возбуждение с различной скоростью.

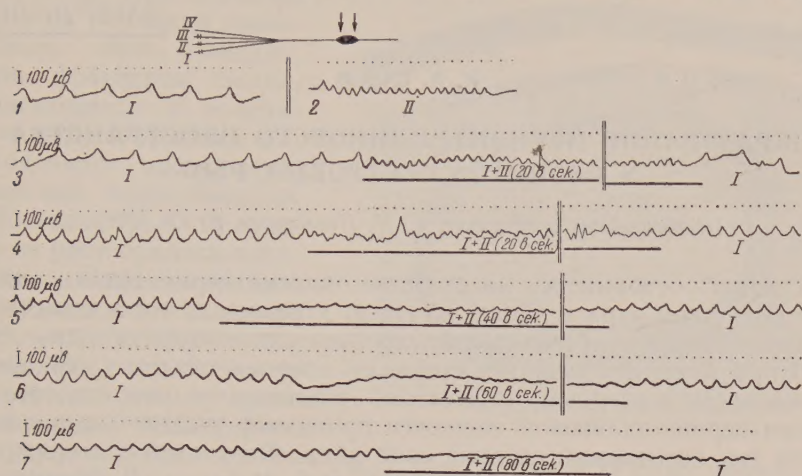


Рис. 4. Значение фактора частоты стимулов при максимальной их силе для развития состояния торможения в синапсах ганглия при одновременном раздражении I и II пучков волокон шейного преганглионарного симпатического ствола

Состояние торможения в ганглии, возникающее при раздражении волокон I и II пучков максимальной силой при низкой частоте, по своей внутренней природе сходно с тем, что мы получали при раздражении целого преганглионарного ствола с увеличением частоты и силы раздражающих стимулов⁽⁵⁾. И в том и другом случае состояние торможения обуславливается пессимальной реакцией нервных клеток в результате несоответствия частоты приходящих по нервным волокнам в ганглий импульсов со скоростями течения возбуждательного процесса при данных условиях обмена веществ в нервных клетках. Об этом говорит, как показал электрофизиологический анализ, уменьшение в первую очередь второго компонента потенциалов действия ганглия, содействующего возбуждению нервных клеток.

При раздражении пучков (I и II) это наступает вследствие одновременного поступления импульсов по разным путям к одним и тем же нервным клеткам. При раздражении целого преганглионарного ствола в результате увеличения импульсов, поступающих по одному и тому же пути.

На основании наших опытов с взаимно-тормозящим влиянием различных групп волокон (I и II пучков) мы приходим к заключению, что нет оснований приписывать той или иной группе волокон в нервной системе специфически тормозящее или возбуждающее влияние. Все зависит от функционального состояния субстрата, на который падают импульсы, распространяющиеся вдоль нервных волокон и имеющие определенную размерность — силу, частоту и длительность. Торможение в межнейронных синапсах, как видно из приведенных данных, является результатом столкновения процессов возбуждения в общем пути, его непосредственной модификацией при новом функциональном состоянии нервных клеток.

Институт экспериментальной медицины
Академии медицинских наук СССР

Поступило
30 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. М. Быков, Кора головного мозга и внутренние органы, 1944. ² В. С. Шевелева, Физиол. журн. СССР, 31, 3—4, 157, 171 (1945). ³ В. С. Шевелева, ДАН, 110, № 3 (1956). ⁴ В. С. Шевелева, ДАН, 101 № 6 (1955). ⁵ В. С. Шевелева, ДАН, 102, № 1 (1955).

И. А. САДОВ

ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРИВИТЕЛЛИНОВОГО ПРОСТРАНСТВА У ОВОЦИТОВ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 10 IX 1956)

О. Гертвиг, основываясь на сходстве окраски перивителлиновой жидкости с веществом ядра в яйцах лягушки, утверждал, что жидкость перивителлиновой полости образуется из зародышевого пузырька (ядра). Заленский⁽¹⁾ при изучении развития стерляди, отмечая сходство перивителлиновой жидкости с ядерным веществом, указывал и на то, что в образовании перивителлиновой жидкости принимает участие надпигментный слой или так называемый светлый слой яйца. Этот слой у стерляди описан также Олышвангом⁽²⁾, у костистых рыб Мейеном⁽³⁾, Кулаевым⁽⁴⁾ и многими другими авторами. Точка зрения об образовании перивителлиновой жидкости из ядерного вещества была высказана за последнее время Детлаф и Гинзбург⁽⁵⁾ и Крыжановским⁽⁶⁾.

Вывод о том, что перивителлиновая жидкость образуется из ядерного вещества, сделан на материалах, полученных при изучении яиц осетровых рыб в момент их оплодотворения. В период оплодотворения икры действительно наблюдается картина выделения фрагментов белка из цитоплазмы яйца, которые оводняясь, образуют перивителлиновую жидкость. Эти фрагменты белков по окраске и по их форме ничем не отличаются от фрагментов, находящихся в большом количестве во всей толще цитоплазмы яйца, после растворения ядра.

Несмотря, казалось бы, на очевидность участия ядерного вещества в образовании перивителлиновой жидкости, все же некоторые моменты этого процесса остаются неясными. Например, почему оводнение фрагментов ядерного вещества происходит только под оболочками и не происходит в цитоплазме яйца, где их содержится большее количество? Почему фрагменты белка выделяются под оболочки из цитоплазмы яйца только на небольшом участке центральной зоны анимального полюса? Фрагменты же ядерного вещества располагающиеся также в поверхностных слоях цитоплазмы яйца, — в участках, прилегающих к центральной части анимального полюса, не выделяются под оболочки и не оводняются.

Все это и побудило нас к изучению источников образования перивителлиновой жидкости на более ранних стадиях развития овоцитов. Для этой цели нами были взяты овоциты на IV стадии зрелости гонады, в период овуляции и в момент оплодотворения. При изучении овоцитов осетра, севрюги и стерляди на IV стадии зрелости гонады, когда ядро овоцита и его оболочка еще не растворены, нами были обнаружены белковые включения, именуемые фрагментами белка. Эти включения располагаются в поверхностном слое цитоплазмы яйца, именно в центральной части анимального полюса — против ядра (рис. 1). Над этими белковыми включениями, в оболочках неклеточного строения расположены трофические пути⁽⁵⁾ — выросты фолликулярной оболочки, по которым происходит питание овоцита. Эти белковые фрагменты одним концом несколько углублены в поверхностный слой яйца, другим — соприкасаются со светлым слоем его цитоплазмы. Светлый слой яйца (рис. 2) образуется еще в начале большого роста овоцита. В дальнейшем развитии он становится тоньше на вегетативном полушарии ово-

цита (рис. 3, А) и в 3—5 раз толще на анимальном полюсе (рис. 3, В). Таким образом, как светлый слой яйца, так и белковые включения располагаются на месте будущего перивителлинового пространства, т. е. между оболочками и цитоплазмой яйца. При изучении овоцитов на IV стадии зрелости гонады стало очевидно, что эти фрагменты белка, располагающиеся в поверхностном слое цитоплазмы яйца, неядерного происхождения, так как ядра овоцитов на этой стадии зрелости гонады еще не растворились в цитоплазме. Они, вероятно, являются остатками белковых веществ, поступающих в цитоплазму через трофические пути, из фолликулярного эпителия, т. е. они, очевидно, фолликулярного происхождения, а не ядерного.

На стадии овуляции ядра в овоцитах растворяются, и ядерное вещество в цитоплазме распадается на большое количество белковых включений, именуемых также фрагментами. Фрагменты ядерного происхождения соприкасаются с фрагментами фолликулярного происхождения, располагающимися в поверхностном

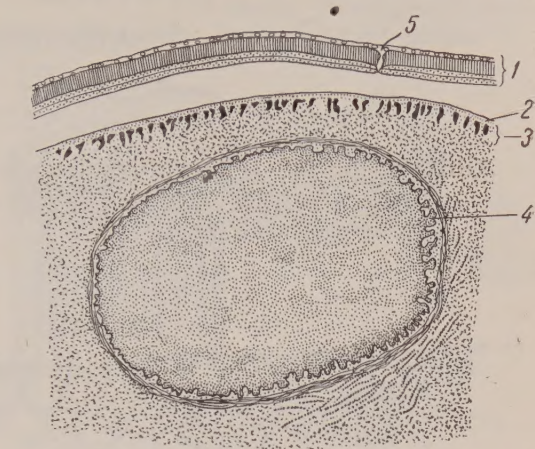


Рис. 1. Овоцит осетра на IV стадии зрелости гонады: 1 — оболочки яйца, 2 — светлый слой яйца; 3 — фрагменты белка фолликулярного происхождения, 4 — ядро с оболочкой, 5 — микропиле



Рис. 2. Овоцит осетра на II стадии зрелости гонады половозрелой рыбы: 1 — светлый слой яйца, 2 — ядро, 3 — желток (капельный)

слое цитоплазмы яйца в центральной части анимального полюса. Таким образом, после растворения ядра в протоплазме овоцита образуется единая система белковых включений, которые между собой не различаются ни по форме, ни по размерам, ни по окраске. Создается впечатление, что все это — ядерное вещество. Изучение овоцитов под ультрафиолетовым микроскопом показало, что фрагменты фолликулярного происхождения не содержат в себе нуклеиновых кислот, а фрагменты ядерного происхождения — содержат. Это служит подтверждением морфологических наблюдений о различном происхождении белковых включений, находящихся в толще цитоплазмы яйца и на ее поверхности в центральной части анимального полюса.

После попадания яйца в воду вначале наступают изменения в оболочках. Белковые капельки, располагающиеся по наружному краю *zona radiata externa*, оводняясь, превращаются в жидкость, которая пропитывает наружную оболочку и вытекает наружу. Одновременно с этим у овоцитов образуются микропиле. Из образовавшихся каналов жидкость также вытекает наружу. Вслед за изменениями в оболочках начинается образование перивителлинового пространства. Вода, проникшая под оболочки, поглощается белками, находящимися под ними. Фрагменты фолликулярного происхождения и светлый слой яйца разжижаются и, увеличиваясь в объеме, отжимают оболочки яйца от цитоплазмы к области анимального полюса, образуя перивителлиновую полость.

Таким образом, перивителлиновая жидкость образуется благодаря оводнению светлого слоя яйца и фрагментов белка фолликулярного происхождения, располагающихся в поверхностном слое яйца в центральной части анимального полюса.

Участие светлого слоя яйца в образовании перивителлиновой жидкости

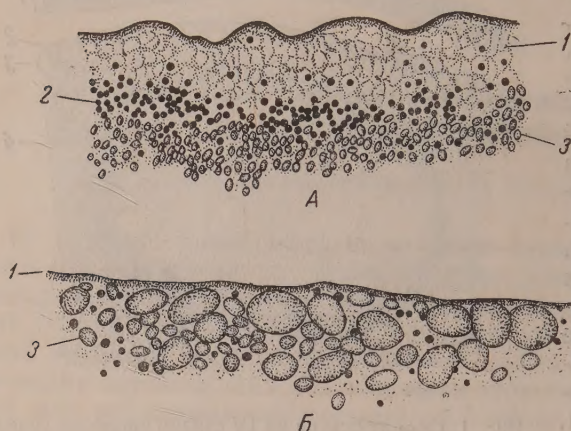


Рис. 3. Овоцит осетра на IV стадии зрелости гонады: А — анимальная часть; Б — вегетативная часть; 1 — светлый слой яйца, 2 — пигментный слой, 3 — желточные зерна. В вегетативной части (Б) светлый слой выражен слабо, пигментные зерна отсутствуют а желточные — крупнее, чем в анимальной части

лежат к зоне, в которой происходит оводнение белков. Вероятно, они не обладают способностью к оводнению, иначе вся цитоплазма яйца была бы перенасыщена водой. Поэтому фрагменты ядерного вещества не участвуют в образовании перивителлинового пространства.

Ядерное вещество содержит в себе значительное количество рибонуклеиновой кислоты, которая накапливается в ядре в период большого роста путем увеличения ядрышек и растворения их в ядре незадолго до овуляции. Из ядра, после его растворения, рибонуклеиновая кислота переходит в цитоплазму яйца.

Таким образом, ядерное вещество в развитии зародыша используется в другом направлении. Абсолютное увеличение ядра за период роста овоцита вызывается, вероятно, синтезом желтка, в котором рибонуклеиновая кислота, по-видимому, принимает участие. После прекращения питания овоцита наступает растворение ядра, т. е. обогащение цитоплазмы яйца рибонуклеиновой кислотой, содержание которой по мере развития зародыша, по данным Б. В. Кедровского, уменьшается (7).

Следовательно, перивителлиновая жидкость у овоцитов осетровых рыб образуется фрагментами белка фолликулярного происхождения и светлым слоем яйца.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
26 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Заленский, Тр. Об-ва естеств. при Казанск. унив., 7, в. 3 (1878). ² Н. А. Ольшванг, Изв. Пермск. биол. научн. инст., 10, в. 9/10 (1936). ³ В. А. Мейен, Изв. АН СССР, сер. биол., № 3 (1939). ⁴ С. И. Кулаев, Русск. зоол. журн., 8, в. 3 (1928). ⁵ Т. А. Тетлаф, А. С. Гинзбург, Зародышевое развитие осетровых рыб, 1954. ⁶ С. Г. Крыжановский, Вопр. ихтиол., в. 1 (1953). ⁷ Б. В. Кедровский, Усп. совр. биол., 31, в. 1 (1951). ⁸ И. А. Садов, ДАН, 111, № 6 (1956).
- ⁹ O. Nelsen, Comparative Embryology of the Vertebrates, 1953.